

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

А. В. Красильников

**СБОРКА И ИСПЫТАНИЯ АГРЕГАТОВ
И СИСТЕМ РОБОТИЗИРОВАННЫХ МОРСКИХ
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Учебное пособие



**Санкт-Петербург
2013**

УДК 629.58

А. В. Красильников – Сборка и испытания агрегатов и систем роботизированных морских технических средств. Учебное пособие. – СПб.: СПбНИУ ИТМО, 2013 г. – 152 с.

В пособии освещаются вопросы сборки и испытаний элементной базы подводных робототехнических устройств. Приводятся краткие сведения о теоретических основах разработки технологического процесса сборки изделий приборостроения и технологиях сборки элементов морской техники. Рассматриваются роль и место испытаний в системе технологической организации производства и особенности испытаний подводной техники.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200100 – Приборостроение.

Рекомендовано к печати Ученым советом факультета точной механики и технологий, протокол № 2 от 12 февраля 2013 г.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009-2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2013

© Красильников А. В., 2013

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Основы технологии сборки приборов и систем.....	11
1.1. Общие сведения о технологии сборки.....	11
1.2. Технологии сборки направляющих морской техники.....	32
1.3. Технология сборки пневматических и гидравлических трубопроводов высокого давления.....	34
Глава 2. Испытания, их роль и место в системе технологической организации производства.....	49
Глава 3. Особенности испытаний подводной техники.....	63
Глава 4. Подготовительный этап. Подготовка ВВД. Метроло- гическое обеспечение испытаний.....	67
Глава 5. Испытания узлов, устройств и систем подводных объектов и технических жидкостей, применяемых в подводном аппаратостроении.....	92
5.1. Испытания узлов, устройств и систем подводных объектов на прочность и герметичность.....	92
5.2. Испытания технических жидкостей, применяемых в подводном аппаратостроении.....	95
Глава 6. Стенды для гидравлических испытаний элементной базы подводной робототехники.....	106
Глава 7. Пример расчетной методики оценки характеристик испытательного стенда.....	117
Заключение.....	121
Приложения.....	122
Библиографический список.....	146

Введение

Значительные качественный и количественный скачки в развитии техники, которые начались в XX веке и продолжаются в настоящее время, привели к тому, что сегодня в мировой геополитике первостепенную значимость приобретает борьба за контроль над добычей и распределением энергоносителей и других полезных ископаемых, поскольку без них промышленность просто не сможет функционировать. Особенно наглядно темпы развития техники можно продемонстрировать на примере динамики уровня мирового производства нефти. Так, в 1900 году общее количество производимой в мире нефти составляло около 0,02 млрд. тонн в год. Уже к 1950 году этот показатель вырос до 0,55 млрд. тонн, а с 90-х годов прошлого века в мире ежегодно производят более 3 млрд. тонн нефти. И эта цифра продолжает увеличиваться. Согласно данным Международного энергетического агентства общемировой спрос на энергоресурсы к 2030 году вырастет более чем на 50 % по отношению к уровню 2006 года. При этом альтернативных источников энергии, способных полностью заменить углеводородные энергоносители, в ближайшем будущем ожидать не приходится.

Известные наземные месторождения углеводородного сырья не могут обеспечить удовлетворение этого спроса. Существует объективная необходимость интенсификации геологического изучения и последующего вовлечения в освоение новых крупных нефтегазоносных провинций. Поэтому вопрос о массовом освоении месторождений, находящихся на шельфе Мирового океана неизбежно будет решаться в ближайшие десятилетия.

Эта же мировая тенденция справедлива и для России. Возможности увеличения ресурсного потенциала освоенных районов территории Российской Федерации ограничены. Многолетняя практика форсированного наращивания добычи за счет наиболее крупных месторождений привела к истощению фонда таких объектов. Ежегодный прирост запасов углеводородного сырья в среднем по Российской Федерации незначительно покрывает добычу, а по ряду регионов накапливается ежегодный дефицит разведанных запасов.

Крупнейшим перспективным направлением геологоразведочной деятельности является геологическое изучение континентального шельфа страны. Именно на акваториях, находящихся под юрисдикцией Российской Федерации, с большой степенью вероятности прогнозируется открытие крупных и уникальных месторождений углеводородного сырья [64].

Российская особая экономическая зона распространяется на 4,2 млн.км² шельфа и занимает 21 % площади шельфа Мирового океана. Согласно предварительным оценкам Министерства природных ресурсов и экологии РФ, начальные извлекаемые ресурсы углеводородов на шельфе России достигают 100 млрд. тонн условного топлива, в том числе 15,5 млрд. тонн

нефти и 84,5 трлн. м³ газа, что соответствует около 25 % от общего объема мировых ресурсов углеводородов. Уже сегодня для российской нефтегазовой индустрии наметился переход к освоению морских шельфовых залежей (Балтийское, Черное, Каспийское, Баренцево и другие моря Северного ледовитого океана и Дальнего Востока) [37]. Вследствие необходимости освоения новых месторождений фронт разведки и добычи полезных ископаемых все больше удаляется от берега, что приводит к увеличению глубины, на которой приходится проводить подводно-технические работы.

Впервые разрабатывать подводные месторождения углеводородов начали еще в 1869 году. Однако глубина работ ограничивалась несколькими десятками метров. Активная деятельность по освоению континентального шельфа, разработке способов добычи на шельфе различных полезных ископаемых, началась с шестидесятых годов XX века. За последние четыре десятилетия в освоении шельфа достигнуты заметные успехи. Значительно расширен диапазон глубин, на которых стало возможно проведение буровых работ, как в порядке разведочного бурения на нефть и газ, так и в процессе освоения разведанных месторождений.

Исходя из того факта, что большая часть дна Мирового океана имеет глубины до 6000 м, до настоящего времени в мире строились подводные аппараты (ПА), имеющие рабочую глубину погружения 6000 м. Это позволяло им эффективно проводить геологоразведочные и другие работы почти в любой точке океанского дна.

25 марта 2012 года канадским режиссером Д. Кэмероном было совершено первое за последние 52 года погружение человека в самую глубокую точку Мирового океана – на дно Марианской впадины (глубина около 11000 м). Это ознаменовало собой начало борьбы за реальное освоение предельных глубин, что требует и разработки ПА, способных их достичь.

Это сразу же ставит перед конструкторами ряд специфических проблем. Во-первых, если речь идет об обитаемых аппаратах, необходимо создать внутри ПА достаточно объемную полость (камеру), условия внутри которой будут приемлемы для длительного нахождения в ней человека. То есть, условия в ней должны быть идентичны внешним условиям на поверхности Земли – в основном, по давлению. Это требует особенно ответственного (ведь речь идет о человеческой жизни) подхода к обеспечению прочности и герметичности корпуса аппарата, который должен противостоять возрастающему с глубиной внешнему давлению. Это непосредственно влияет на выбор материалов, из которых будет изготавливаться корпус и его оснастка; при этом необходимо исследовать и учесть возможное изменение свойств этих материалов с ростом глубины погружения.

Во-вторых, как обитаемые, так и необитаемые ПА (НПА), предназначенные для освоения континентального шельфа, вынуждены работать в условиях агрессивной морской среды. Не вызывает сомнения тот факт, что техника, предназначенная для работы в условиях морской среды

должна отвечать гораздо более жестким технологическим требованиям, чем техника, работающая в воздушном пространстве. Этому способствует то, что первая испытывает значительно большее количество различных по своей природе и интенсивности воздействий, чем последняя.

Влияние среды на технологию определяется многими факторами, разными по масштабу воздействия. В первую очередь, влияние на работающую в среде технику и выполняемые ею операции оказывают влияние характерные свойства (повышенное давление, плотность, коррозионная активность и другие) среды, в нашем случае морской воды. Они определяют особенности движения техники, коррозию ее элементов, толщину прочного корпуса и т.д. Вторым фактором являются характерные для среды физические явления и поля – в случае с морской техникой, это течения, изменение давления и температуры среды по глубине, наличие ледовой обстановки и прочее. Третьим фактором, влияющим на работу техники, является наличие в среде различных макро- и микроорганизмов.

По основным физическим параметрам водная среда существенно отличается от воздушной. Вода имеет плотность в 775 раз, вязкость – в 60 раз, теплоемкость – в 4 раза и теплопроводность – в 25 раз больше, чем воздух. Вода является хорошим растворителем многих веществ. В морской воде содержатся в определенных количествах почти все элементы земной коры, но больше всего – поваренной соли, солей магния, кальция и калия. В зависимости от содержания солей плотность морской воды колеблется от 1,0024 до 1,032 кг/см³. Кроме того, морская вода содержит растворенные газы: кислород (8,2 см³/л при 0° С), углекислый газ (40 см³/л при 0° С) и азот (15,6 см³/л при 0° С) [40].

Таким образом, можно сказать, что морская среда является одной из самых агрессивных сред, в которых может работать техника. Существует стандарт ISO 12944, классифицирующий среды по степени агрессивности [73]. Согласно этому стандарту, атмосферная среда разделяется на шесть атмосферно-коррозионных категорий:

1. C1 – очень низкая.
2. C2 – низкая.
3. C3 – средняя.
4. C4 – высокая.
5. C5-1 – очень высокая (индустриальная).
6. C5-M – очень высокая (морская).

При этом категории коррозионной активности среды определяются по степени потери в их условиях массы и толщины неокрашенного металла. В морской среде потери низкоуглеродистой стали в год могут составлять до 1500 граммов по массе и до 200 мкм по толщине с квадратного метра поверхности.

Как пример обрастания морскими организмами подводного технического средства в морской воде может быть приведен внешний вид (рис. В.1) подводного аппарата Scarlet Knight после пересечения им

Атлантического океана. Аппарат находился в морской воде в течение 221 дня – с 27 апреля по 4 декабря 2009 года. На фотографии отчетливо видны поселившиеся на корпусе моллюски [74].



Рис. В.1 Внешний вид НПА Scarlet Knight после длительного пребывания в морской воде

Третьей крупной проблемой, с которой сталкиваются конструкторы, является обеспечение автономных ПА непрерывной связью с обеспечивающим судном. Это имеет особое значение для аппаратов, рассчитанных на погружение на большие глубины. Понятно, что система связи должна быть настолько надежной, чтобы исключить возможность любых отказов во время выполнения задания на глубине. Поэтому поведение системы связи, особенно построенной на автоматике, должно быть тщательно изучено во всех возможных внешних условиях еще до рабочего применения.

Из перечисленного выше (а это далеко не полный список проблем) понятно, что создание глубоководных ПА требует в первую очередь создания их элементной базы (материалы, уплотнительные узлы, рабочие жидкости и т.д.), от качества которой напрямую зависит работоспособность и безопасность самих ПА. Это, в свою очередь, требует проведения большого количества исследований, так как даже по сжимаемости технических жидкостей в интервале давлений до 120 МПа в технической литературе есть только отрывочные сведения. Проведение таких испытаний в натуральных условиях океана невозможно, поэтому для опытной отработки подобных технических устройств и оптимизации их характеристик используются специализированные исследовательские стенды, позволяющие внутри специальных камер имитировать внешние условия на заданной глубине погружения.

Международный опыт свидетельствует, что создание таких технологических стендов является неотъемлемой частью процесса создания сложной подводной техники. Так, например, известно, что подготовка экспедиции Д. Кэмерона заняла восемь лет, основная часть которых была потрачена на строительство одноместного обитаемого подводного аппарата *Deepsea challenger*, обошедшегося (с учетом его постройки частной компанией) в 7 млн. долларов США. При этом наиболее ответственная часть аппарата – прочная камера – испытывалась на способность выдержать внешнее давление, соответствующее максимальной глубине погружения, на специальном оборудовании в Университете штата Пенсильвания, США.

Обширный отечественный опыт создания подводной техники показывает, что из-за невозможности получения адекватных теоретических описаний, до 40% всех возникающих при создании подводных технических средств проблем решаются с помощью испытаний, в первую очередь, стендовых. В связи с этим стоимость и длительность проведения испытаний, как правило, становятся определяющими в общих затратах и сроках разработки подводных технических устройств.

Однако недостаточное финансирование нашей науки в течение последних 20 лет существенно увеличило наше отставание от ряда передовых стран в области разработки новейших технологий и оборудования (в том числе испытательного), призванных обеспечить создание конкурентоспособной подводной техники. Поэтому перед нашей наукой и судостроительной промышленностью стоит проблема перехода к проектированию и строительству новейшей техники с помощью инновационных технологий, в первую очередь, основанных на передовых, новых технических решениях.

В утвержденной указом президента Российской Федерации №537 от 12 мая 2009 г. «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года» [65] подчеркивается: «<...> Прямое негативное воздействие на обеспечение национальной безопасности в сфере науки, технологий и образования оказывают отставание в переходе в последующий технологический уклад, зависимость от импортных поставок научного оборудования, приборов и электронной компонентной базы, стратегических материалов, несанкционированная передача за рубеж конкурентоспособных отечественных технологий, необоснованные односторонние санкции в отношении научных и образовательных организаций России, недостаточное развитие нормативной правовой базы и слабая мотивация в сфере инновационной и промышленной политики.

<...> Одним из главных направлений Российская Федерация на среднесрочную перспективу определяет технологическую безопасность. С этой целью совершенствуется государственная инновационная и промышленная политика, определяются в качестве безусловного приоритета инновационного развития национальной экономики фундаментальная и прикладная наука, образование, совершенствуется федеральная контрактная

система и система государственного заказа на подготовку высококвалифицированных специалистов и рабочих кадров, развивается государственно-частное партнерство в сфере науки и технологий, создаются условия для интеграции науки, образования и промышленности, проводятся системные исследования в интересах решения стратегических задач национальной обороны, государственной и общественной безопасности, а также устойчивого развития страны...».

Будучи крупной развитой страной, имеющей протяженную береговую линию, Россия обязана придавать исключительное значение освоению и охране морей, рассматривать развитие морского хозяйства в качестве составной части государственной стратегии развития, предпринимать комплексные шаги, направленные на усиление контроля за морской средой, совершенствовать законодательство в этой области, активно развивать науку, технику и образование в области океанологии. И одним из важных направлений науки, которое необходимо развивать, должно стать направление, рассматривающее вопросы создания испытательного оборудования, которое позволит проверять ключевые технические и технологические решения в условиях производства, без риска для жизни и здоровья людей.

Для того, чтобы показать, что освоение шельфа принадлежит к числу областей деятельности с наиболее низкими показателями безопасности, можно привести данные (табл. В.1) [3] о числе несчастных случаев со смертельным исходом, приходящихся на 1000 человеко-лет, в разных отраслях промышленности Норвегии, владеющей частью арктического шельфа и активно его осваивающей.

Таблица В.1

Отрасль промышленности	Количество несчастных случаев
Морской транспорт	2,1
Горная промышленность	0,9 – 1,4
Строительство	0,3
Перерабатывающая промышленность	0,15
Разработка шельфа	3,1 – 4,1

Поэтому следует еще раз подчеркнуть: проектирование и строительство средств освоения континентального шельфа требуют особо внимательного отношения к применяемым технологиям.

Таким образом, можно с уверенностью говорить о том, что вопросы разработки стендовой технологической базы, ориентированной на испытания глубоководной морской техники являются одними из приоритетных вопросов, стоящих перед ее разработчиками, а от наличия испытательного

оборудования напрямую зависит качество выпускаемых изделий (рис. В.2).



Рис. В.2 Некоторые факторы, влияющие на качество изделия

На сегодняшний день в мире (в том числе, и в России) известно очень малое количество публикаций, отражающих опыт разработки технологической оснастки для экспериментальной отработки элементной базы подводной робототехники. Автор надеется, что данное пособие послужит небольшим вкладом в дело раскрытия этой важной для современной и будущей России темы.

Помимо сведений об испытаниях и их технологическом оснащении, в пособии кратко приведены данные о теоретических основах разработки технологического процесса сборки изделий приборостроения, технологиях сборки направляющих морской техники, а также пневматических и гидравлических трубопроводов высокого давления.

Данные материалы могут быть использованы в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки магистров 200100 «Приборостроение», в рамках изучения дисциплины «Технологии сборки и испытаний приборов и систем».

Глава 1. Основы технологии сборки приборов и систем

1.1. Общие сведения о технологии сборки

Качество любого изделия, его способность выполнять свои функции в течение требуемого времени зависят от многих факторов. При этом одним из наиболее значимых факторов является качество сборки изделия. Сборка – наиболее ответственная стадия производственного процесса. Это объясняется тем, что именно на этапе сборки изделие принимает свой конечный облик. Поэтому плохо организованная сборка может нивелировать все затраты на качество исходных материалов и точность изготовления деталей.

Сборка является одновременно и наиболее трудоемкой стадией производства. В среднем, трудоемкость сборки механических приборов составляет $40 \div 50 \%$ от общей трудоемкости изготовления прибора, для оптических приборов эта цифра находится в пределах $45 \div 55 \%$, для электромеханических приборов она оценивается в $60 \div 70 \%$, а для приборов электронной техники – в $70 \div 80 \%$ [61].

Что же представляет из себя сборка? В соответствии с ГОСТ 3.1109-82 [20], сборка – это образование соединений составных частей изделия. Согласно ГОСТ 23887-79 [26], технологический процесс сборки – это технологический процесс, содержащий действия по установке и образованию соединений составных частей заготовки или изделия.

Существует следующая классификация видов сборки [26]:

1. *По составным частям собираемого изделия.* По этому признаку выделяют агрегатную сборку, т.е. сборку изделия или его составной части из агрегатов.

2. *По точности сборки* выделяют прецизионную сборку, т.е. сборку изделия или его составной части, имеющих соединения, у которых допуск на определенный размер меньше допуска, установленного в принятой системе допусков и посадок.

3. *По объекту сборки* различают узловую и общую сборки.

4. *По стадии процесса* различают:

- предварительную сборку – сборку заготовок, составных частей или изделия в целом, которые в последующем подлежат разборке;

- промежуточную сборку – сборку заготовок, выполняемую для дальнейшей их совместной обработки;

- сборку под сварку;

- окончательную сборку – сборку изделия или его составной части, после которой не предусмотрена их последующая разборка при изготовлении.

5. *По методу образования соединения* различаются:

- слесарная сборка – сборка изделия или его составной части при помощи слесарно-сборочных операций;

- монтаж – установка изделия или его составных частей на месте использования;

- электромонтаж – монтаж электроизделий или его составных частей, имеющих токоведущие элементы;

- сварка;

- пайка;

- клепка;

- склеивание.

6. По перемещению собираемого изделия выделяют следующие виды сборки:

- стационарная сборка – сборка изделия или его составных частей на одной позиции;

- подвижная сборка – сборка изделия или его составной части с перемещением их по позициям.

7. По организации производства различают:

- поточную сборку – сборку изделия или его составной части в условиях поточной организации производства;

- групповую сборку – сборку изделия или его составной части в условиях групповой организации производства.

8. По механизации и автоматизации процесса выделяются следующие виды сборки:

- ручная сборка – сборка изделий или его составных частей, осуществляемая по ручному методу выполнения технологического процесса;

- механизированная сборка – сборка изделий или его составных частей, осуществляемая по механизированному методу выполнения технологического процесса;

- автоматизированная сборка – сборка изделий или его составных частей, осуществляемая по автоматизированному методу выполнения технологического процесса;

- автоматическая сборка – сборка изделий или его составных частей, осуществляемая по автоматическому методу выполнения технологического процесса.

9. По методу обеспечения точности замыкающего звена различаются (о методах обеспечения точности более подробно будет сказано ниже):

- сборка с полной взаимозаменяемостью;

- сборка с неполной взаимозаменяемостью;

- сборка с групповой взаимозаменяемостью (при этом в отношении данного вида сборки недопустимо использование наименования селекционная или селективная сборка);

- сборка с пригонкой;

- сборка с регулированием;

- сборка с компенсирующими материалами.

ГОСТ 23887-79 устанавливает также классификацию видов соединений. В соответствии с ним, соединения различаются:

1. *По сохранению целостности при разборке* (разъемные и неразъемные соединения).
2. *По возможности относительного перемещения* (подвижные и неподвижные соединения).
3. *По форме сопрягаемых поверхностей* (плоские, цилиндрические, конические, сферические, винтовые и профильные соединения).
4. *По методу образования* (резьбовые, клиновые, штифтовые, шпоночные, шлицевые, сварные, ниппельные, штуцерные, прессовые, фальцованные, развальцованные и комбинированные соединения).

Такое разнообразие видов соединений и сборки свидетельствует о том, что организация сборочных работ требует ответственного подхода, основанного на знании теоретических основ технологического процесса сборки.

Рассмотрим процесс планирования и организации сборки.

Цель разработки технологического процесса сборки изделия – проверить реализуемость и технологичность разработанного конструктором способа сборки, дать его подробное описание, определить необходимые для сборки средства производства, мощности, площади, временные и рабочие ресурсы, трудозатраты и себестоимость сборки изделия. Как правило, технологические процессы сборки подробно разрабатываются при подготовке к выпуску любого нового серийного изделия. Кроме этого, они также должны разрабатываться (возможно, в сокращенном виде) и для ответственных мелкосерийных и опытных изделий.

Последовательность выполнения этапов разработки сборочного технологического процесса выглядит следующим образом:

1. Обработка конструкции изделия на технологичность.
2. Построение схемы сборки изделия.
3. Установление методов сборки.
4. Разработка технологической схемы сборки изделия.
5. Выбор типа производства.
6. Выбор организационной формы сборки.
7. Определение схем базирования изделия при узловой и общей сборке.
8. Нормирование времени сборочных операций.
9. Определение типа сборочного оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств.
10. Выбор и конструирование дополнительного технологического оборудования.
11. Выбор методов и средств контроля.
12. Внесение требований по технике безопасности.
13. Оформление технологического процесса сборки.

Рассмотрим данные этапы более подробно.

Отработка конструкции изделия на технологичность

Для проектирования технологического процесса сборки необходимы исходные данные, к которым относятся [62]:

- разработанный конструктором сборочный чертеж изделия со спецификацией, в которой указаны все сборочные единицы, в том числе поступающие со стороны в готовом виде;
- технические условия приемки готового изделия;
- план выпуска изделий, в том числе данные о предполагаемой длительности выпуска изделий в годах;
- сведения о наличии производственных возможностей, доступных технологическом оборудовании и оснастке и другие справочные материалы.

Из приведенных документов в первую очередь подлежат анализу сборочный чертеж изделия и технические условия его приемки.

Сборочный чертеж изделия должен содержать исчерпывающую информацию о последнем: все размеры, которые должны соблюдаться при сборке, данные о необходимых посадках в сопряжениях, сведения о массе готового изделия и другие данные.

Технические условия должны содержать сведения о методе (методах) сборки, ее последовательности, характеристиках соединений (например, их герметичность, моменты затяжки для резьбы и т.д.), методах проведения промежуточного и комплексного контроля и другие сведения.

Анализ этих двух документов должен выявить недостатки предлагаемой конструкции изделия, возможности повышения ее технологичности за счет упрощения ее сборки, возможность и целесообразность применения назначенного конструктором метода сборки, возможность механизации и автоматизации ее процесса.

Здесь следует сразу же остановиться на критериях, определяющих технологичность конструкции, подлежащей сборке.

Согласно ГОСТ 23887-79 [26], технологичность изделия в сборке – это совокупность свойств изделия, определяющих его приспособленность к технологической подготовке сборочного производства и сборке и характеризующихся отношениями затрат труда, средств, материалов и времени на их выполнение к значениям соответствующих показателей изделий-аналогов, определяемых в принятых условиях производства.

Исходя из данного определения, можно сформулировать ряд требований, которым должна удовлетворять технологичная конструкция в сборке. К ним относятся следующие требования [63], [61]:

1. Конструкция изделия должна состоять из отдельных, четко разграниченных, сборочных единиц, количество которых должно быть рационально ограниченным. В целом, число деталей в изделии или сборочной единице должно быть наименьшим. Сложные изделия, содержащие большое число деталей, должны строиться по блочному принципу, то есть разбиваться на отдельные блоки, состоящие из 4-12 деталей.

2. Конструкция сборочной единицы должна обеспечивать возможность ее компоновки из стандартных и унифицированных частей.
3. Конструкция изделия должна обеспечивать возможность параллельной и независимой сборки входящих в его состав сборочных единиц.
4. Сборка изделия должна производиться без разборки сборочных единиц и составных частей.
5. Сборка изделия должна обеспечивать возможность механизации и автоматизации (для серийных изделий).
6. Число крепежных деталей в изделии следует по возможности уменьшать. Вместо резьбовых соединений целесообразно использовать сварку, расклепку, развальцовку, и т. д.
7. В конструкции изделия не следует применять соединения, трудно осуществимые автоматическим образом, например, закручивание проволокой, с использованием пружин и др.
8. Для соединений деталей с переходной посадкой или с посадкой с натягом следует избегать длинных путей соединения; кроме этого следует учитывать возможность образования воздушных подушек в глухих отверстиях.
9. Постановка комплектующих деталей на базовую деталь должна осуществляться простейшим движением.
10. В сборочной единице должна быть четко выражена базовая часть.
11. Сборка должна производиться при неизменном базировании составных частей.
12. Необходимо совпадение конструкторских баз с технологическими и измерительными.
13. Следует отдавать предпочтение методам сборки, пригодным для автоматизации ее процесса (методы полной или частичной взаимозаменяемости).
14. Детали изделий, подлежащих автоматизированной сборке, должны иметь явно выраженные базовые поверхности (желательно цилиндрические или плоские) и явно выраженные места (ключи) для надежного ориентирования в загрузочных и транспортных устройствах.
15. Детали, сопрягаемые в осевом направлении, должны иметь по кромкам поверхностей конструктивные элементы (фаски, направляющие расточки и т. п.), облегчающие самоустановку и центрирование.
16. Шероховатость поверхностей сопряжения у деталей должна быть обоснована, так как значительная шероховатость поверхности может привести к заклиниванию детали в процессе сборки.
17. Технологическое оснащение должно быть по возможности не сложным.

18. Конструкция изделия должна обеспечивать удобный доступ к местам для контроля, регулировки и т.п.
19. Компоновка изделия и используемые виды соединений должны позволять легко производить замену частей, в отношении которых она периодически необходима (например, из-за небольшого рабочего ресурса).

В целом, при оценке технологичности изделия или сборочной единицы необходимо учитывать как технологические, так и экономические и организационные критерии. Помимо технологических параметров изделия (уровень унификации деталей, точность их размеров и формы, их пригодность к автоматической загрузке, сложность регулировки и контроля, уровень механизации и автоматизации), необходимо также оценивать себестоимость изготовления изделия и время подготовки производства. При этом каждый отдельный случай разработки сборочного технологического процесса должен быть рассмотрен и сбалансирован по вышеприведенным критериям.

Построение схемы сборки изделия

На основании изучения обозначенных ранее исходных данных составляется схема сборки изделия, которая представляет собой графическое изображение последовательности сборки изделия или его составной части в виде условных обозначений.

Формирование схемы сборки должно производиться с учетом удобства сборочных работ и контроля качества сборки, при этом должны учитываться количество сборочных рабочих мест, наличие необходимых технологической оснастки и оборудования, возможности сокращения времени сборки, снижения ее себестоимости, применения средств механизации и автоматизации. При этом сначала, как правило, составляется схема общей сборки, а затем схемы сборки входящих в ее состав сборочных единиц [62]. Пример схемы сборки изделия, включающей схемы сборки сборочных единиц, представлен на рис. 1.1.

Установление методов сборки

Следующим этапом разработки сборочного технологического процесса является установление методов сборки изделия. При этом выделяют и анализируют все размерные цепи изделия и, исходя из технической и экономической целесообразности, выбирают метод обеспечения точности сборки.

Ниже кратко объяснены основные понятия, относящиеся к задаче расчета размерных цепей [56].

Размерная цепь – это совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное положение поверхностей или осей одной или нескольких деталей.

Размерные цепи, участвующие в сборочном процессе, относятся к технологическим размерным цепям, которые решают задачи обеспечения точности на конечных этапах создания изделия.

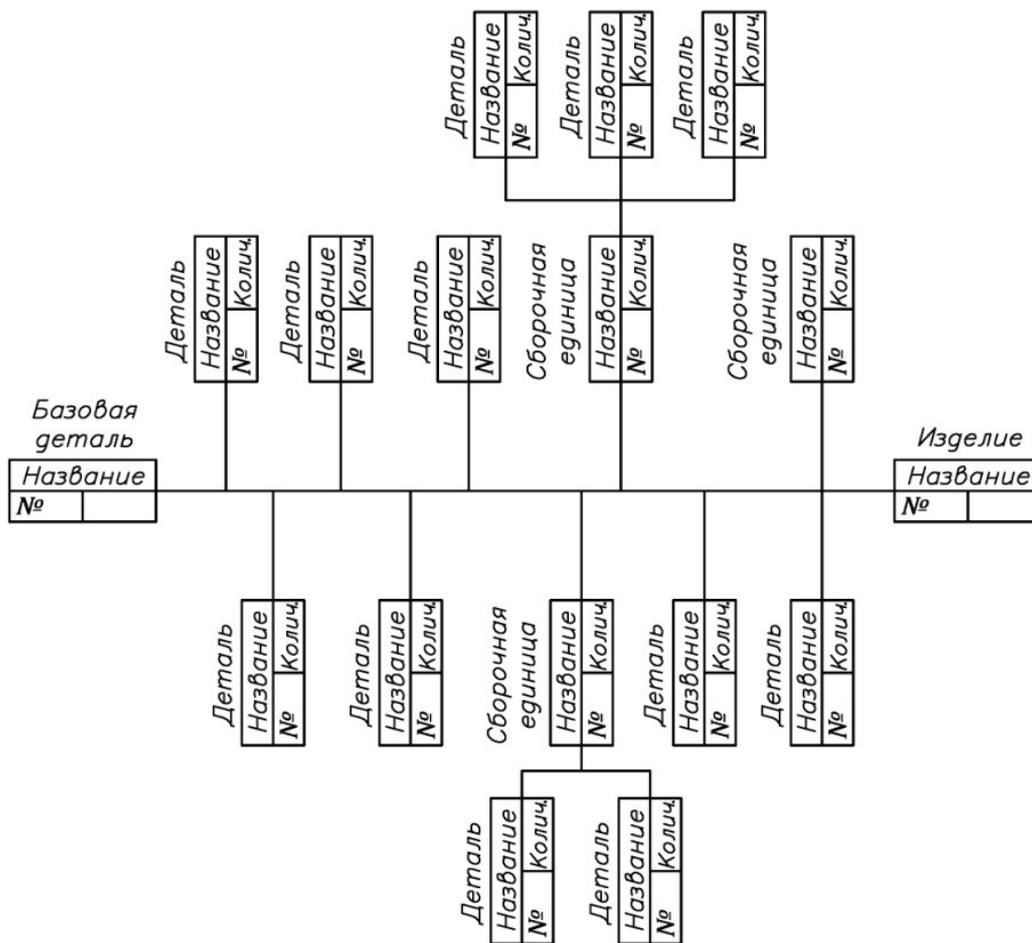


Рис.1.1 Пример схемы сборки изделия

Каждый из размеров, образующих размерную цепь называется звеном. Звеном может быть линейный или угловой размер изделия, узла, детали, определяющий размер поверхности, относительное расстояние или относительный поворот поверхностей или их осей.

Исходным называется звено, к которому предъявляется требование по точности, т.е. звено, определяющее качество изделия в соответствии с техническими условиями. В процессе сборки изделия исходное звено, как правило, получается последним, замыкая размерную цепь. Такое звено называют замыкающим, оно непосредственно не выполняется, а представляет собой результат выполнения (изготовления) всех остальных звеньев цепи.

Каждая размерная цепь содержит одно-единственное исходное или замыкающее звено и несколько составляющих звеньев.

Составляющим называется звено размерной цепи, изменение которого приводит к изменению замыкающего звена. Составляющие звенья могут быть увеличивающими и уменьшающими. Увеличивающими (\vec{A}_i, \vec{B}_i) называются звенья, с увеличением которых замыкающее звено увеличивается, а уменьшающими (\vec{A}_i, \vec{B}_i) называют звенья, с увеличением которых замыкающее звено уменьшается. Если увеличивающие и

уменьшающие звенья определены правильно, то стрелки над буквами должны указывать одно направление движения по замкнутому контуру размерной цепи.

Размерные цепи, в зависимости от расположения звеньев, могут быть плоскими и пространственными, а, в зависимости от вида звеньев – линейными или угловыми. При этом звенья линейных размерных цепей обозначают прописными буквами русского алфавита с соответствующими числовыми индексами, а звенья угловых цепей – строчными буквами греческого алфавита.

Сущность расчетов размерных цепей заключается в установлении допусков и предельных отклонений всех звеньев в соответствии с требованиями, предъявляемыми к конструкции и технологии. Более подробно ознакомиться с вопросами расчета размерных цепей можно с помощью специальной литературы [56], [57].

Если изделие имеет несколько размерных цепей, то его сборку следует организовывать таким образом, чтобы сначала выполнялись наиболее сложные и ответственные цепи.

Методы сборки отличаются друг от друга способом обеспечения точности замыкающего звена. При этом различают следующие методы:

- метод полной взаимозаменяемости;
- метод неполной взаимозаменяемости;
- метод групповой взаимозаменяемости;
- метод пригонки;
- сборка с регулированием;
- сборка с компенсирующими материалами.

Рассмотрим эти методы более подробно.

Метод полной взаимозаменяемости

Метод полной взаимозаменяемости заключается в том, что на все звенья, входящие в размерную цепь, устанавливаются такие допуски, при которых каждая изготовленная в их рамках деталь будет соответствовать требованиям соединения. То есть точность замыкающего звена обеспечивается для всех без исключения размерных цепей изделия без подбора звеньев, регулировки или пригонки. При этом сборка осуществляется без дополнительной обработки деталей и не требует 100%-го контроля. Использование такого метода является признаком наиболее высокой степени технологичности конструкции.

К положительным сторонам метода полной взаимозаменяемости относятся простота сборки, экономия времени за счет отсутствия необходимости полного контроля, сортировки деталей или их пригонки, широкие возможности автоматизации сборочных работ, а также существенное упрощение процессов изготовления запасных деталей и снабжения ими потребителей.

К недостаткам метода относится возможность его применения только на производствах с высоким уровнем технологической подготовки в связи с

относительно малыми допусками на изготовление всех деталей и, как следствие, жесткими требованиями по точности их изготовления.

Метод применяется преимущественно в крупносерийном и массовом производствах для изделий, имеющих небольшое число звеньев в размерных цепях.

Сборка методом неполной взаимозаменяемости

Смысл применения метода неполной взаимозаменяемости заключается в том, что допуски на изготовление деталей устанавливаются более широко, чем для метода полной взаимозаменяемости. Процесс изготовления деталей упрощается, поскольку необходимая точность их изготовления падает, но имеет место определенный процент изделий, у которых точность замыкающего звена не обеспечивается. При этом процент возможного брака может быть заранее оценен, например, по методике, приведенной в [55].

Сборка изделий по методу неполной взаимозаменяемости, так же, как сборка с использованием метода полной взаимозаменяемости, осуществляется без предварительного контроля размеров деталей, их подбора или дополнительной обработки. Однако для метода неполной взаимозаменяемости обязательным является контроль качества всех собранных изделий. При выявлении бракованных изделий, последние должны быть разобраны, а полученные детали без дополнительной доработки снова направлены на сборку.

Положительной стороной применения метода неполной взаимозаменяемости является упрощение процесса обработки деталей, что ведет к снижению его стоимости. Также существенное значение имеет то, что сам сборочный процесс остается аналогичным процессу, имеющему место при использовании метода полной взаимозаменяемости.

Отрицательной чертой метода является повышение сложности сборочного производства в целом за счет введения контроля всех собранных изделий.

Использование метода неполной взаимозаменяемости оправдано в случае сборки изделий, имеющих в составе размерных цепей много звеньев, при относительно большой программе выпуска.

Метод групповой взаимозаменяемости

Метод групповой взаимозаменяемости основан на том, что детали изготавливаются с расширенными по отношению к методам полной и неполной взаимозаменяемости допусками. При этом сборка без предварительной подготовки невозможна. Поэтому для того, чтобы обеспечить точность замыкающего звена у собираемых изделий, все детали перед сборкой сортируются на группы (отсюда и название метода) в зависимости от смещения их действительного (реального) размера относительно номинального. После сортировки детали поступают на сборку, где детали из одноименных групп соединяются друг с другом без дополнительных операций подгонки или регулировки.

К плюсам применения метода относятся высокая точность сборки и широкие допуски на изготовление деталей, а к минусам – необходимость предварительного контроля, сортировки, маркировки, отдельного хранения и транспортирования всех деталей, что ведет к усложнению сборочного производства.

Метод групповой взаимозаменяемости применяется при любом типе производства преимущественно для обеспечения высокой точности размерных цепей, имеющих небольшое число звеньев.

Сборка методом пригонки

При использовании метода пригонки точность замыкающего звена обеспечивается путем снятия (или нанесения) слоя материала с заранее выбранной детали (компенсатора).

Недостатки метода:

- прерывание процесса сборки для проведения обработки компенсирующего звена;
- трудность нормирования операций доработки;
- наличие отходов обработки на рабочем месте сборщика, что может привести к их попаданию в собираемые изделия;
- нарушение антикоррозийного покрытия детали-компенсатора.

Кроме этого, данный метод требует тщательного выбора детали-компенсатора, которая не должна принадлежать одновременно нескольким связанным размерным цепям.

Положительной стороной способа является возможность обеспечения требуемой точности замыкающего звена многозвеньевых размерных цепей.

Метод может применяться в мелкосерийном и единичном производстве при большом числе звеньев в размерных цепях и требуемой высокой точности соединений. В целом, применение данного метода следует, по возможности, ограничивать.

Сборка методом регулирования

Применение данного метода характеризуется тем, что требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается за счет изменения положения или размера компенсирующего звена без удаления с последнего слоя материала. Метод в целом аналогичен методу пригонки, но не требует механической обработки.

К преимуществам метода относятся:

- возможность изготовления деталей с большими допусками;
- относительная простота сборки;
- возможность обеспечения высокой точности замыкающего звена при большом количестве звеньев;
- возможность регулировки точности замыкающего звена не только при сборке изделия, но и в процессе его эксплуатации.

К отрицательным сторонам можно отнести некоторое усложнение конструкции изделия.

В отличие от метода пригонки, метод регулирования может применяться (и применяется) в серийном производстве.

Сборка с применением компенсационных материалов

При использовании данного метода сборки точность замыкающего звена достигается путем заполнения зазора между сопрягаемыми поверхностями деталей компенсирующими звеньями, в качестве которых могут использоваться резина, пластмасса и другие материалы.

Положительные черты данного метода аналогичны положительным сторонам метода регулирования. К отрицательной составляющей метода можно отнести необходимость подбора компенсаторов по месту, возможные износ и старение компенсаторов, что потребует их замены.

Использование метода имеет смысл в мелкосерийном и единичном производстве при сборке соединений, базирующихся по плоскостям, а также при ремонте изделий.

Разработка технологической схемы сборки изделия

На основании схемы сборки изделия и принятых методов сборки производится разработка технологической схемы сборки изделия. При этом на схему сборки изделия наносится технологическая информация о сборочных операциях, типе используемого оборудования, последовательности выполнения операций и т.д. В том случае, если в изделие входят несколько размерных цепей, последовательность их сборки также должна быть представлена на технологических схемах, при этом указанные размерные цепи должны выполняться последовательно, начиная с наиболее ответственной цепи [62].

Технологические схемы сборки являются основой для дальнейшего проектирования технологических процессов сборки. Пример технологической схемы сборки представлен на рисунке 1.2.

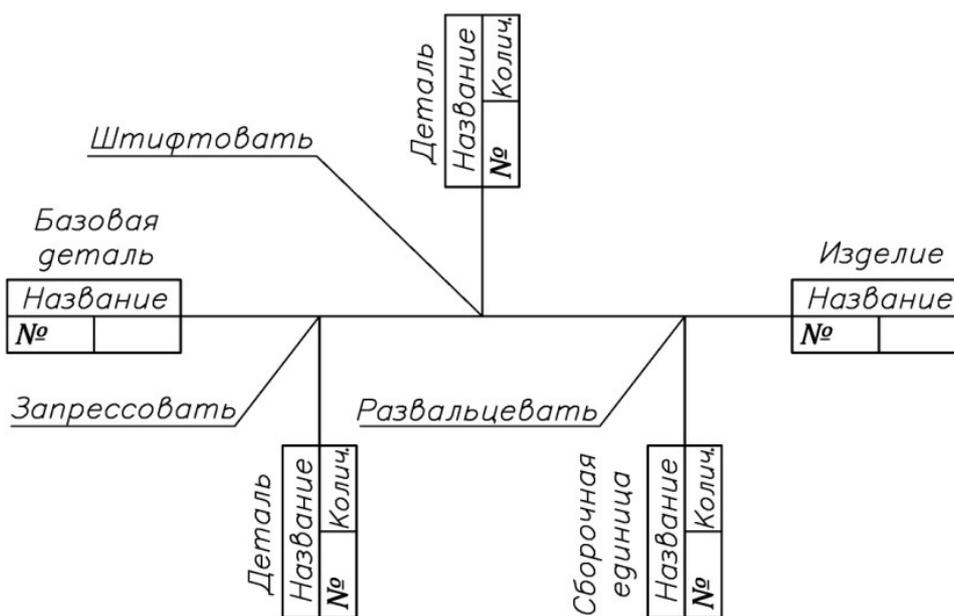


Рис. 1.2 Пример технологической схемы сборки

Выбор типа производства

В зависимости от времени, затрачиваемого на сборку одного изделия, а также программы выпуска продукции, сборочный процесс требует различной организации. Даже прекрасно проработанный с точки зрения обеспечения точности сборки изделия сборочный технологический процесс может быть абсолютно непригодным для предприятия, если при его применении не обеспечивается программа выпуска или себестоимость одного изделия оказывается чрезмерно высокой.

В соответствии с ГОСТ 14.004-83 [29], исходя из широты номенклатуры выпускаемых изделий, регулярности, стабильности и объема выпуска продукции выделяют следующие типы производства: единичное, серийное и массовое. Единичное производство отличается широкой номенклатурой изготавливаемых изделий и малым объемом их выпуска. Массовое производство, наоборот, предполагает узкую номенклатуру изделий и большой объем выпуска. Серийное производство является промежуточным типом и характеризуется ограниченной номенклатурой изготавливаемых периодически повторяющимися партиями изделий при сравнительно большом объеме выпуска. При этом в зависимости от количества изделий в партии и значения коэффициента закрепления операций различают мелкосерийный, среднесерийный и крупносерийный типы производства.

Ниже в таблице 1.1. приведены сведения о величинах выпуска продукции для всех перечисленных типов [38].

Таблица 1.1

Среднемесячный выпуск, шт.					
Трудоемкость сборки изделий, ч.	Единичное	Мелкосерийное	Среднесерийное	Крупносерийное	Массовое
> 2500	1	2-4	> 5	-	-
250-2500	< 3	3-8	9-60	> 60	-
25-250	< 5	8-30	31-350	351-1500	> 1500
2,5-25	< 8	9-50	51-600	601-3000	> 3000
0,25-2,50	-	< 80	81-800	801-4500	> 4500
< 0,25	-	-	-	1000-6000	> 6000

Упомянутый ранее коэффициент закрепления операций определяется как отношение числа всех различных технологических

операций, подлежащих выполнению в течение месяца, к общему числу рабочих (в нашем случае сборочных) мест, т.е.

$$K_{30} = \frac{O}{P},$$

где O – число различных технологических операций, выполняемых в течение месяца, шт.;

P – число рабочих мест, шт.

Для массового производства коэффициент закрепления операций $K_{30} = 1$, крупносерийное производство имеет место в случае нахождения коэффициента в интервале $1 < K_{30} < 10$, среднесерийное – при $10 < K_{30} < 20$, мелкосерийное – при $20 < K_{30} < 40$, а единичное – при $K_{30} > 40$.

Выбор предпочтительного типа производства осуществляется на основании технологических схем узловой и общей сборки, при этом выявляются все технологические и вспомогательные сборочные операции и, исходя из общего числа сборочных мест, определяются коэффициент закрепления операций и тип производства.

Выбор организационной формы сборки

Исходя из метода сборки изделия и принятого типа производства, выбирается организационная форма сборочного процесса. В общем случае организационные формы сборочных процессов для изделия и его составных частей могут быть разными.

В целом, организационная форма сборки изделия определяется типом и условиями производства с учетом объема выпуска изделий на определенном отрезке времени, трудоемкости сборочных работ и экономической эффективности. Организационные формы сборки приведены на рисунке 1.3, а их связь с типом производства представлена в таблице 1.2 [36].

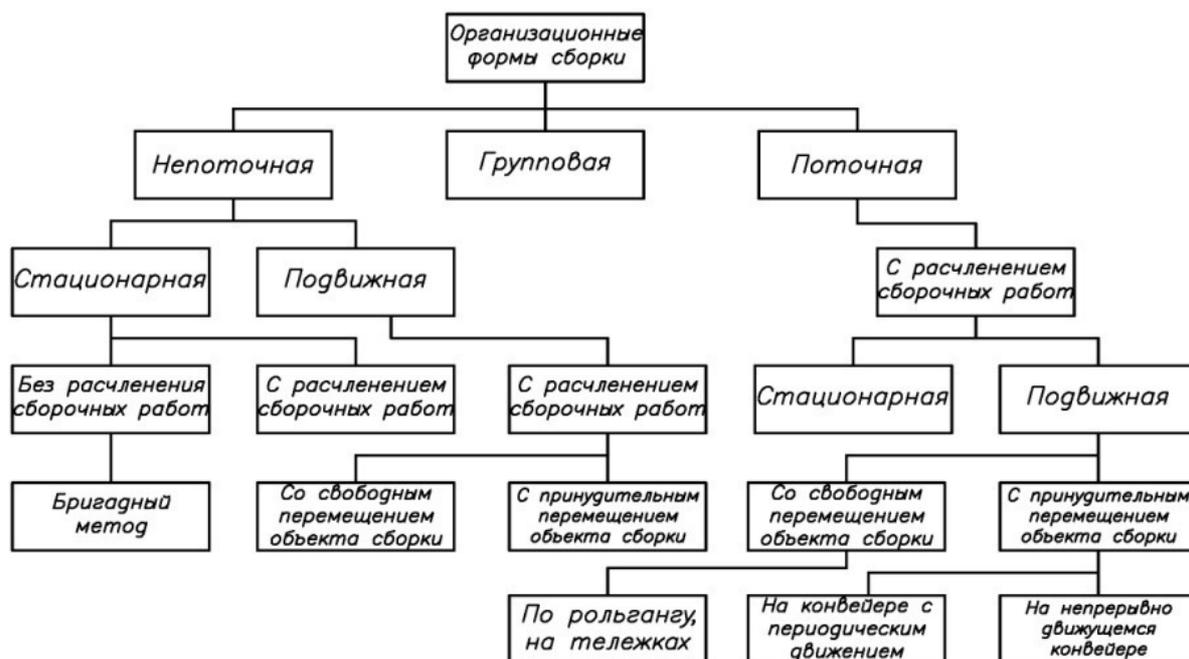


Рис. 1.3 Организационные формы сборки

Таблица 1.2

Тип производства	Организационные формы сборки
Единичное	Непоточная стационарная сборка без расчленения сборочных работ.
Мелкосерийное	Непоточная стационарная сборка без расчленения и с расчленением сборочных работ.
Среднесерийное	Стационарная и подвижная поточная сборка с расчленением работ и регламентированным темпом при большом оперативном времени.
Крупносерийное	Подвижная поточная сборка с расчленением процесса сборки на операции и передачи собираемого объекта от одного рабочего места к другому вручную или с помощью механических транспортирующих устройств.
Массовое	Подвижная (с периодическим или непрерывным перемещением объекта) поточная сборка с расчленением сборочных работ на операции и передачей собираемого изделия от одного рабочего места к другому посредством транспортировочных устройств. Темп сборки строго регламентирован.

Ниже приведена краткая характеристика перечисленных организационных форм сборки [38].

Непоточная стационарная сборка определяется тем, что весь процесс сборки изделия и его узлов выполняется одной бригадой рабочих на одном рабочем месте, в качестве которого могут быть использованы монтажный стенд, станок, пол цеха.

К положительным чертам этой организационной формы сборки можно отнести постоянство положения основной базовой детали, что соответствует принципу постоянства баз, и использование универсальных транспортных средств, приспособлений и инструментов.

Недостатками данной формы являются последовательное выполнение всех сборочных операций, что увеличивает общее время сборки, высокие требования к квалификации рабочих, ограничение возможностей выпуска изделий количеством имеющихся в наличии сборочных рабочих мест.

Данная организационная форма сборки подходит для единичного и мелкосерийного типов производства при выпуске изделий, имеющих значительные габариты и массу.

Непоточная стационарная сборка с расчленением сборочных работ предполагает разделение процесса сборки на узловую и общую.

Сборка каждой сборочной единицы (узла) и общая сборка выполняются параллельно разными бригадами рабочих. Собираемое изделие

остаётся неподвижным в течение всего процесса. Такая организация позволяет существенно сократить общее время сборки изделия.

Преимущества и недостатки в целом остаются теми же, что и для предыдущей формы, но данная организация позволяет проводить сборочные работы не последовательно, а в одно и то же время, и кроме того, не требует высокой квалификации для всех рабочих за счет возможности специализации и разделения труда между сборщиками.

Областью экономически оправданного использования данной организационной формы сборки также является единичное или мелкосерийное производство.

Непоточная подвижная сборка определяется последовательным свободным или принудительным перемещением собираемого изделия от одного рабочего места к другому. Процесс сборки при этом разбивается на отдельные операции.

Сборка со свободным перемещением собираемого изделия подразумевает, что рабочий, закончив операцию, характерную для одного рабочего места, с помощью механизмирующих средств или вручную перемещает изделие на следующее рабочее место. Изделия могут также собираться на тележках, стоящих на рельсах, на рольгангах и т. д.

Сборка с принудительным перемещением собираемого изделия заключается в том, что изделие передвигается при помощи конвейера или тележек, замкнутых ведомой цепью. Сборка может выполняться как на конвейере, так и возле него. Организация подвижной сборки возможна только на основе расчленения сборочных работ.

Непоточная подвижная сборка является экономически целесообразной при переходе от единичного типа производства к серийному.

Поточная сборка характеризуется тем, что отдельные операции процесса сборки выполняются за одинаковый промежуток времени – такт, или за промежуток времени, кратный такту. Главным условием организации поточной сборки является обеспечение взаимозаменяемости собираемых узлов и деталей. В случае необходимости использования пригоночных работ, последние должны предварительно осуществляться за пределами потока, а пригнанные детали и узлы должны поступать на поточную сборку после контроля в окончательно сформированном виде.

Поточная сборка сокращает длительность производственного цикла и межоперационные заделы деталей, повышает специализацию сборщиков и возможности механизации и автоматизации сборочных операций.

Поточная сборка является обоснованной при достаточно большой программе выпуска собираемых изделий.

Поточная стационарная сборка является одной из форм поточной сборки, при которой все собираемые объекты остаются на рабочих местах в течение всего процесса сборки. Рабочие или бригады рабочих по сигналу все одновременно переходят от одних собираемых изделий к следующим через промежутки времени, равные такту. Каждый рабочий или бригада

выполняют закрепленную за ними одну и ту же операцию на каждом из собираемых изделий.

Основными преимуществами данной формы сборки являются работа с установленным тактом, что обеспечивает равномерный по времени выпуск продукции и высокая производительность труда.

Использование данной организационной формы целесообразно в условиях серийного производства изделий, имеющих недостаточную жесткость базовых деталей, большие габаритные размеры и массу.

Поточная подвижная сборка может осуществляться как с принудительным, так и со свободным непрерывным или периодическим перемещением изделия.

Преимуществами данной организационной формы являются выполнение работы с требуемым тактом и возможность почти полного совмещения времени, затрачиваемого на транспортировку изделий, со временем их сборки.

Такая форма является экономически целесообразной в условиях крупносерийного и массового производств.

В целом, конкретный вариант организационной формы сборочного производства выбирается на основе оценки себестоимости сборки изделия при учете сроков и затрат, необходимых для оснащения производства всем необходимым технологическим и подъемно-транспортным оборудованием.

Определение схем базирования изделия при узловой и общей сборке

В соответствии с ГОСТ 21495-76 [7], базирование – это придание заготовке или другому изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат. Применительно к сборочному процессу под базированием понимают придание детали или сборочной единице требуемого положения относительно других деталей изделия [6].

Поверхности заготовок или деталей, используемые при базировании, называют базами. Базы, как и размерные цепи, разделяются на конструкторские и технологические. Согласно ранее упоминавшемуся ГОСТу 21495-76 [7], технологическая база – это база, используемая для определения положения заготовки или изделия при изготовлении или ремонте.

Исходя из сказанного выше, понятно, что при любом виде сборки от правильности назначения технологических баз в значительной степени зависит фактическая точность выполнения требуемых размеров изделия, однако наибольшее значение правильный выбор баз приобретает в случае автоматической сборки, где даже небольшая неточность может серьезно повлиять на качество собираемого изделия.

Поэтому вопрос определения схемы базирования при сборке (как общей, так и узловой) должен быть всесторонне проработан на стадии разработки сборочного технологического процесса.

При выборе схем базирования изделия в процессе сборки должны учитываться необходимость обеспечения заданной точности сборки и

гарантированной собираемости изделия, удобство его установки и снятия с базовой поверхности, надежность его закрепления, удобство выполнения сборочных операций, возможность использования приспособлений, оборудования и транспортных средств. При этом также желательно следовать принципам совмещения и постоянства баз. Первый принцип состоит в том, что технологические базы должны совпадать с конструкторскими, а второй – в том, что на всем протяжении технологического процесса необходимо стремиться к использованию одной и той же технологической базы, не изменяя ее без особой необходимости. При нарушении этих принципов неизбежно возникает погрешность расположения одних деталей относительно других, что ведет к снижению качества создаваемого изделия [6].

При анализе возможных схем базирования оцениваются погрешности установки, определяются допуски на размеры технологических баз, оформляются требования к шероховатости их поверхностей, а в случае смены баз происходит также пересчет необходимых размеров и допусков.

В целом, можно выделить следующие основные случаи базирования [62].

1. Базовая деталь изделия устанавливается на необработанную поверхность и не перемещается в течение всего процесса сборки. Такой вариант базирования характерен для ручной сборки простых изделий с использованием приспособлений, обеспечивающих неподвижность базовой детали.
2. Базовая деталь изделия базируется на обработанную поверхность, параметры которой известны и не изменяет своего положения в процессе сборки. Данная схема применяется как при ручной сборке в приспособлениях, обеспечивающих точное положение сопрягаемых деталей, так и при механизированной и автоматизированной сборке.
3. Базовая деталь изделия последовательно устанавливается на различные базы. Из перечисленных случаев базирования данный случай является наименее предпочтительным.

Нормирование времени сборочных операций

Важной составляющей частью процесса разработки и организации сборочных работ является определение норм времени, отведенных на сборочные операции.

В соответствии с ГОСТ 3.1109-82 [20], норма времени – это регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации, а технологическое нормирование – это установление технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов, под которыми понимают энергию, сырье, материалы, инструмент, рабочее время и т.д.

На основе технологического нормирования определяются трудоемкость сборочных операций, нормы выработки, устанавливаются расценки на сборочные работы, осуществляется календарное планирование производства.

При сборке различают три метода нормирования времени [36]:

- технический расчет норм по нормативам;
- расчет норм на основе установления затрат рабочего времени наблюдением (хронометраж и видеосъемка);
- определение норм по укрупненным нормативам (опытно-статистический метод).

Расчет норм времени производится следующим образом [38].

Норма штучного времени на сборочные операции может быть представлена как сумма основного (технологического) времени T_o , вспомогательного времени T_v , времени на обслуживание рабочего места $T_{обс}$ и времени на отдых $T_{отд}$, т.е.

$$T_{ш} = T_o + T_v + T_{обс} + T_{отд}.$$

Время на обслуживание рабочего места и отдых нормируются в процентах от оперативного времени, которое определяется по формуле

$$T_{оп} = T_o + T_v.$$

Тогда норма штучного времени может быть представлена в виде

$$T_{ш} = T_{оп} \cdot \left(1 + \frac{A_{обс} + A_{отд}}{100}\right) \cdot K,$$

где $A_{обс}$ – время на обслуживания рабочего места (в процентах от оперативного времени);

$A_{отд}$ – время на отдых (в процентах от оперативного времени);

K – поправочный коэффициент на оперативное время, учитывающий число приемов, выполняемых рабочим.

Нормирование сборочных работ ведется по нормативам времени на слесарно-сборочные работы.

При сборке изделий партиями определяется штучно-калькуляционное время.

$$T_{ш-к} = T_{ш} + \frac{T_{п-з}}{n},$$

где $T_{п-з}$ – подготовительно-заключительное время на партию изделий;
 n – размер партии изделий.

При поточной сборке в штучное время включается время T_t на перемещение собираемого изделия (при периодически движущемся конвейере) или на возвращение рабочего в исходную позицию (при непрерывно движущемся конвейере). Если это время перекрывается другими элементами штучного времени, то оно не учитывается.

Сокращение времени производства сборочных операций в значительной степени зависит от уровня технологичности конструкции собираемого изделия.

Определение типа сборочного оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств

Ввиду того, что процесс сборки является весьма трудоемким, необходимо, по возможности, обеспечить весь комплекс сборочных работ средствами, облегчающими труд рабочих и повышающими его эффективность. К таким средствам относят технологическое сборочное оборудование, технологическую оснастку и подъемно-транспортные средства. В целом, их состав и рабочие характеристики определяются содержанием сборочных операций, а также параметрами собираемых изделий. Так, например, для сборки деталей с натягом используются прессы – пневматические, механические или гидравлические в зависимости от требуемого усилия запрессовки, а для резьбовых соединений целесообразно оснащение рабочих сборочных мест винто- и гайковертами, позволяющими контролировать момент затяжки.

Выбор и конструирование дополнительного технологического оборудования

В случае, если необходимое для организации процесса сборки технологическое оборудование отсутствует на производстве, необходимо выбрать его из существующих и доступных к приобретению образцов, либо, если первое невозможно, организовать процесс его создания, то есть конструирования и изготовления. Как правило, к последнему варианту рекомендуется не прибегать. Его применение возможно только в исключительных случаях.

Выбор методов и средств контроля

В процессе сборки изделия могут возникать различные погрешности, приводящие к снижению качества собираемого изделия или даже к его выбраковке. Их возникновение связано с рядом причин. Большую роль играют погрешности изготовления деталей, из которых собирается изделие. Однако ряд ошибок может быть допущен и при самой сборке. Причинами этих ошибок могут быть [1]:

- ошибки рабочих при ориентации и фиксации положения деталей в процессе их монтажа;
- погрешности измерения рабочими размеров, которые необходимо выдерживать в процессе сборки, а также погрешности измерительных средств (их неправильный выбор);
- относительные сдвиги деталей во временном промежутке между моментом их установки и моментом фиксации;
- попадание инородных тел, грязи или стружки в зазоры между деталями в процессе их установки;
- повреждение деталей (образование задиров, деформация) в процессе их доставки к сборочному месту или во время сборки.

Для своевременного выявления и устранения отклонений от установленных требований точности сборки изделия (брака) на всех этапах технологического сборочного процесса необходимо наличие технического

контроля качества. Кроме этого, необходимо контролировать качество поступающих с других предприятий комплектующих изделий и полуфабрикатов, а также (по крайней мере, визуально) качество деталей, поступающих на рабочие сборочные места.

Наиболее часто при узловой и общей сборке проверяют следующие параметры [62]:

1. Наличие всех необходимых деталей в собранных соединениях (выполняется с помощью визуального контроля).
2. Правильность и точность взаимного положения сопрягаемых деталей и узлов (выполняется с помощью визуального контроля).
3. Выполнение размеров, указанных в сборочных чертежах.
4. Наличие радиального и осевого биений и других погрешностей установки и фиксации деталей.
5. Величину зазоров в собранных сопряжениях (проверяется щупом).
6. Величину затяжки резьбовых соединений, плотность и качество постановки заклепок, качество вальцовочных и других соединений.
7. Последовательность выполнения сборочных переходов (порядок затяжки резьбовых соединений, последовательность наложения сварных швов и др.) и выполнение вспомогательных операций (например, промывки и очистки сопрягаемых деталей).
8. Герметичность соединений.
9. Выполнение специальных требований (балансировки узлов вращения, подгонки по массе и т.д.).
10. Внешний вид собранных изделий (отсутствие повреждений деталей, загрязнений и других дефектов, которые могут возникнуть в процессе сборки).
11. Качество нанесения и отсутствие повреждений красочного и антикоррозионного покрытий.
12. Выполнение собранными изделиями своих рабочих и эксплуатационных параметров (развитие требуемого расхода рабочих сред, необходимого крутящего момента, отсутствие превышения допустимого уровня шумности и т.д.).

Средства контроля (измерительные устройства и схемы их применения) должны выбираться с учетом их метрологических характеристик (пределов и точности измерения; следует отметить, что допустимая погрешность измерения обычно не должна превышать 20% от допуска на контролируемую величину), требуемой точности сборки, конструктивных особенностей собираемых изделий (габаритных размеров, массы), экономической целесообразности и других соображений.

Контроль качества собираемых изделий осуществляется рабочими, мастерами участков, а также контролерами, которые производят промежуточный и окончательный контроль.

В маршрутной технологии сборки прописываются операции контроля и элементы контроля, включаемые в сборочные операции. На контрольные

операции должны составляться инструкционные карты, в которых подробно указываются метод и последовательность контроля, а также используемые средства контроля [62].

Внесение требований по технике безопасности

Исходя из определенного ранее перечня сборочных (или слесарно-сборочных) операций, параметров собираемого изделия (габариты, масса), типа производства, уровня механизации и автоматизации, вида опасных и вредных производственных факторов и характера их воздействия на работающих в технологические документы на сборочный процесс должны быть внесены требования безопасности труда.

Правила отражения и оформления требований безопасности труда в технологической документации определяет ГОСТ 3.1120-83 [16]. В соответствии с данным ГОСТом, в общем случае требования безопасности должны быть отражены в следующих технологических документах, описание которых приведено в ГОСТ 3.1102-81 [19]:

- маршрутной карте (МК);
- карте технологического процесса (КТП);
- карте типового (группового) технологического процесса (КТТП);
- операционной карте (ОК);
- карте типовой (групповой) операции (КТО);
- ведомости операций (ВОП);
- карте эскизов (КЭ);
- технологической инструкции (ТИ);
- ведомости оснастки (ВО);
- комплектовочной карте (КК).

Степень отражения требований безопасности в документах устанавливается их разработчиком с учетом особенностей выполнения технологического процесса (выполняемых операций), норм и требований стандартов ССБТ (система стандартов безопасности труда), санитарных норм и правил, других нормативных и нормативно-технических документов.

Требования безопасности излагаются в МК, КТП, КТТП, ОК, КТО, ВОП перед описанием операций или в ТИ, в случае ее разработки (в данном случае требования безопасности излагают в ТИ, а в остальных документах вместо изложения этих требований делается ссылка на обозначение ТИ). Требования безопасности в перечисленных документах следует отражать с применением ссылок на обозначение действующих на данном предприятии (в организации) инструкций по охране труда, соответствующих требованиям стандартов ССБТ, санитарных норм и правил, других нормативных и нормативно-технических документов по безопасности труда. Так, например, в случае наличия сварочных работ, необходимо дать ссылку на инструкцию по охране труда для электросварщиков ручной сварки (к примеру, ТОИ Р-66-20-93 [67]).

Оформление технологического процесса сборки

После проектирования технологического процесса сборки, полученные технологические разработки необходимо документально зафиксировать. Формы и правила оформления документов на технологические процессы (в том числе и на процесс сборки) регулируются группой ГОСТов единой системы технологической документации (ЕСТД).

Требования к содержанию и комплектности комплектов документов на технологический процесс сборки определяются ГОСТ 3.1119-83 [17] и ГОСТ 3.1121-84 [18].

В общем случае технологическая документация на процесс сборки содержит следующие документы [36]:

- маршрутную карту;
- операционную карту;
- карту типового (группового) технологического процесса;
- карту эскизов;
- карту технологической информации;
- ведомость технологических документов;
- комплектовочную карту;
- ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому (групповому) технологическому процессу.

Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции) сборки содержит ГОСТ 3.1407-86 [21].

1.2. Технологии сборки направляющих морской техники

Направляющие элементы широко применяются в морской технике (в том числе и подводной робототехнике) в тех случаях, когда необходимо обеспечить определенный характер (например, прямолинейный) движения одной детали относительно другой или одного объекта относительно другого. В качестве примера последнего случая можно привести организацию процесса отделения необитаемого подводного робота от носителя. В настоящее время известны несколько вариантов организации такого рода процессов:

- отделение (сброс) под действием статических сил тяжести или положительной плавучести;
- отделение за счет кратковременного динамического воздействия силы, создаваемого с помощью внешних источников энергии (пневматической, гидравлической и т.д.);
- отделение под действием силы, создаваемой двигателем робота за счет собственных энергетических ресурсов;
- использование гидродинамического поля, создаваемого при движении носителя;
- отделение с помощью специальных спускоподъемных устройств или манипуляторов (краны, лебедки и т.д.).

По крайней мере, первые три варианта из перечисленных, предполагают наличие направляющих элементов, которые обеспечивают в процессе отделения отсутствие поворота робота вокруг своей продольной оси, а также прямолинейность его перемещения в двух координатных плоскостях. Точность организации прямолинейного движения в направляющих для подводных роботов в среднем колеблется в пределах от 0,005 до 0,05 мм на 1000 мм перемещения. В процессе выхода робота за пределы носителя, направляющие испытывают ряд нагрузок, которые обусловлены:

- весом движущегося робота;
- силой, формирующей выходную скорость робота;
- воздействием на робота со стороны внешней среды (например, в случае отделения от подводного носителя, на робота будут воздействовать набегающий поток окружающей воды и архимедова сила).

Вследствие перечисленных причин, сопряжение робота с направляющими должно быть непрерывно контактным по всей длине, а любые погрешности изготовления или сборки направляющих могут привести к возникновению дополнительных вредных усилий при отделении робота, что может негативно сказываться на формировании его выходной скорости и безопасности самого носителя.

В этой связи к направляющим предъявляются высокие требования по прямолинейности (погрешность от 0,002 до 0,05 мм на длине 1000 мм), плоскостности (от 0,002 до 0,05 мм на длине 1000 мм), параллельности друг другу (от 0,005 до 0,05 мм на длине 1000 мм).

В целом, представленные требования по точности изготовления и сборки к направляющим морской техники сопоставимы с теми требованиями, которые предъявляют к направляющим в станкостроении, однако существуют и различия. В станкостроении ответственные протяженные направляющие во многих случаях проектируются как часть станин, при этом они с достаточно высокой точностью выполняются в процессе механической обработки, а направляющие сопрягаемых с ними относительно небольших деталей (столов, суппортов, кареток) доводят при сборке методом пригонки сначала по эталонным плитам, а затем по месту [1].

В отличие от приведенного варианта, направляющие морской техники зачастую не могут быть изготовлены заодно с корпусными конструкциями, поэтому они изготавливаются отдельно, а точность их конечного положения в конструкции осуществляется методом пригонки или с использованием компенсирующих звеньев.

В первом случае после монтажа в корпусе пускового устройства, рабочие поверхности направляющих приходится обрабатывать в сборе (например, растачивать по внешним габаритам (калибру) робота), пришабривать или притирать по месту, при этом направляющие играют роль деталей-компенсаторов и первоначально они изготавливаются с припуском на конечную механическую обработку.

Во втором случае направляющие изначально изготавливаются с чистовыми поверхностями, а точность их положения внутри пускового устройства обеспечивается по месту с помощью деталей – компенсирующих звеньев, вводимых в зазор между установленными в правильное конечное положение направляющими и корпусными опорами-кронштейнами пускового устройства (в качестве примера подобных деталей можно привести клиновые, изготавливаемые по месту, прокладки, прокладки из самотвердеющей пластмассы и т.п.). Особенностью в данном случае является то, что детали – компенсирующие звенья, вследствие серьезных нагрузок, должны изготавливаться из прочных материалов, а также, с учетом агрессивности морской среды, таким образом, чтобы не создать дополнительные контактные коррозионные пары.

Кроме вышеперечисленных особенностей, стоит отметить, что большую роль при сборке направляющих морской техники играют операции контроля, которые должны сопровождать весь сборочный процесс и приемку готовых изделий заказчиком. При этом могут применяться оптические и лазерные методы контроля точности изготовления и положения направляющих.

1.3. Технология сборки пневматических и гидравлических трубопроводов высокого давления

Пневматические и гидравлические трубопроводы имеют широкие границы применения в подводной технике, что обусловлено почти неизбежным наличием в любом подводном техническом устройстве пневматических или гидравлических приводов, а также значительной распространенностью других устройств, для функционирования которых могут применяться пневматическая или гидравлическая энергии.

В этой связи вопросы технологии сборки таких трубопроводов являются весьма актуальными.

В подводной технике применительно к пневматическим (воздушным) системам могут использоваться различные по величине рабочего давления трубопроводы:

- трубопроводы системы воздуха низкого давления, давление в которых составляет до 0,6 МПа;
- трубопроводы системы воздуха среднего давления, величина давления в которых доходит до 2,0 МПа;
- трубопроводы системы воздуха высокого давления, величина давления в которых составляет более 2,0 МПа.

Понятно, что самыми ответственными с точки зрения качества сборки являются трубопроводы системы воздуха высокого давления и именно к ним предъявляются наиболее серьезные технологические требования.

В целом, требования, предъявляемые к процессу сборки трубопроводов высокого давления для морской техники, соответствуют требованиям,

изложенным в Правилах устройства и безопасности эксплуатации технологических трубопроводов ПБ 03-585-03 [49]. Данный документ содержит следующие общие требования к процессу монтажа трубопроводов.

Монтаж трубопроводов следует производить в соответствии с требованиями Правил ПБ 03-585-03, разработанного плана производства работ (ППР) и проекта. Не допускается отступление от проекта и ППР без проведения согласования в установленном порядке.

При монтаже трубопроводов следует осуществлять входной контроль качества материалов, деталей трубопроводов и арматуры на соответствие их сертификатам, стандартам, техническим условиям и другой технической документации, а также операционный контроль качества выполненных работ. Результаты входного контроля оформляются актом с приложением всех документов, подтверждающих качество изделий.

Отклонение линейных размеров сборочных единиц трубопроводов не должно превышать ± 3 мм на 1 м, но не более ± 10 мм на всю длину.

Изделия и материалы, на которые истекли расчетные сроки, указанные в документации, могут быть переданы в монтаж только после проведения ревизии, устранения дефектов, испытания и других работ, обеспечивающих их качество и безопасность применения.

Условия хранения изделий и материалов для монтажа трубопроводов должны соответствовать требованиям технической документации.

Если труба в процессе монтажа разрезается на несколько частей, то на все вновь образовавшиеся части наносится клеймение, соответствующее клеймению первоначальной трубы.

Монтаж любых, вне зависимости от давления, трубопроводов, в соответствии с Правилами ПБ 03-585-03 [49], должен осуществляться следующим образом.

При приемке в монтаж сборочных единиц, труб, элементов и других изделий, входящих в трубопровод, необходимо внешним осмотром (без разборки) проверить соответствие их требованиям документации и комплектности. Не допускается монтаж сборочных единиц, труб, деталей и других изделий, загрязненных, поврежденных коррозией, деформированных, с поврежденными защитными покрытиями. Специальные виды очистки внутренних поверхностей трубопроводов (обезжиривание, травление), если нет других указаний в документации, выполняются после монтажа в период пусконаладочных работ.

Трубопроводы допускается присоединять только к закрепленному в проектном положении оборудованию. Соединять трубопроводы с оборудованием следует без перекоса и дополнительного натяжения. Неподвижные опоры прикрепляют к опорным конструкциям после соединения трубопроводов с оборудованием.

При сборке трубопроводов под сварку не допускается нагрузка на сварной стык до его полного остывания после сварки и термообработки (при необходимости).

Расстояние от поперечного сварного соединения до края опоры или подвески должно обеспечить (при необходимости) возможность его термообработки и контроля. Расстояние от штуцера или другого элемента с угловым (тавровым) швом до начала гнутого участка или поперечного сварного шва трубопровода должно быть не менее наружного диаметра трубы, но не менее 50 мм для труб с наружным диаметром до 100 мм. Для труб с наружным диаметром 100 мм и более это расстояние должно быть не менее 100 мм.

Длина прямого участка между сварными швами двух соседних изгибов должна составлять не менее 100 мм при условном диаметре менее 150 мм и 200 мм при условном диаметре от 150 мм и выше. При применении крутоизогнутых отводов допускается расположение сварных соединений в начале изогнутого участка и сварка между собой отводов без прямых участков.

Расстояние между соседними сварными соединениями и длина кольцевых вставок при вварке их в трубопровод должна быть не менее 100 мм.

Вварка штуцеров, бобышек, муфт и других деталей в местах расположения сварных швов, в гнутые и штампованные детали трубопроводов не допускается. В обоснованных случаях в гнутые и штампованные детали трубопроводов допускается вварка одного штуцера внутренним диаметром не более 25 мм.

При сборке поперечных сварных стыков продольные сварные швы соединяемых элементов должны быть смещены поворотом вокруг продольной оси элементов относительно друг друга.

Перед установкой сборочных единиц трубопроводов в проектное положение гайки на болтах (шпильках) фланцевых соединений должны быть затянуты, сварные стыки заварены (при необходимости термообработаны) и проконтролированы в соответствии с требованиями документации.

Отклонение от перпендикулярности уплотнительной поверхности фланца к оси трубы или детали не должно превышать величин, приведенных в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Диаметр трубы, мм	Отклонение, мм
25 - 60	0,15
60 - 160	0,25
160 - 400	0,35
400 - 750	0,5
>750	0,6

Несоосность уплотнительных поверхностей сопрягаемых фланцев не должна превышать удвоенного отклонения, указанного в таблице 1.3, при

этом зазор должен быть одинаковым по всей окружности и соответствовать толщине прокладки.

При сборке фланцевых соединений следует выполнять следующие требования:

- гайки болтов должны быть расположены с одной стороны фланцевого соединения;

- высота выступающих над гайками концов болтов и шпилек должна быть не менее 1 и не более 3 шагов резьбы;

- гайки соединений с мягкими прокладками затягивают способом крестообразного обхода, а с металлическими прокладками – способом кругового обхода;

- болты и шпильки соединений трубопроводов должны быть смазаны в соответствии с требованиями рабочей документации, а для трубопроводов, работающих при температуре свыше 300° С, предварительно покрыты графитовой смазкой. Мягкие прокладки натираются с обеих сторон сухим графитом;

- диаметр отверстия прокладки не должен быть меньше внутреннего диаметра трубы и должен соответствовать внутреннему диаметру уплотнительной поверхности фланца;

- не допускается выравнивание перекосов фланцевых соединений натяжением болтов (шпилек), а также применением клиновых прокладок.

Монтаж трубопровода разрешается только после установки и закрепления опорных конструкций и подвесок в соответствии с требованиями проекта. Сборочные единицы и узлы трубопроводов должны быть уложены не менее чем на две опоры (или закреплены на двух подвесках) с защитой их от опрокидывания или разворота.

Расстояние от фланца арматуры или фланца компенсатора до опоры, подвески, стены, перегородки или перекрытия должно быть не менее 400 мм.

В местах расположения измерительных диафрагм вместо них при монтаже допускается временно устанавливать монтажные кольца в соответствии с нормативно-технической документацией.

Арматура, имеющая механический или электрический привод, до передачи ее в монтаж должна проходить проверку работоспособности привода.

Положение корпуса арматуры относительно направления потока среды и установка осей штурвалов определяются проектом.

Трубопроводную арматуру следует монтировать в закрытом состоянии. Фланцевые и приварные соединения арматуры должны быть выполнены без натяжения трубопровода. Во время сварки приварной арматуры ее затвор или клапан необходимо полностью открыть, чтобы предотвратить заклинивание его при нагревании корпуса. Если сварка производится без подкладных колец, арматуру по окончании сварки можно закрыть только после ее внутренней очистки.

Холодный натяг трубопроводов можно производить после выполнения всех сварных соединений (за исключением замыкающего), окончательного закрепления неподвижных опор на концах участка, подлежащего холодному натягу, а также после термической обработки (при необходимости ее проведения) и контроля качества сварных соединений, расположенных на всей длине участка, на котором необходимо произвести холодный натяг.

П-образные компенсаторы, расположенные в горизонтальной плоскости, следует устанавливать с соблюдением общего уклона трубопровода, указанного в рабочей документации.

Осевые компенсаторы следует устанавливать соосно с трубопроводами.

Допускаемые отклонения от проектного положения присоединительных патрубков компенсаторов при их установке и сварке должны соответствовать документации на компенсаторы.

При установке компенсаторов направление стрелки на их корпусе должно совпадать с направлением движения вещества в трубопроводе.

При монтаже компенсаторов должны исключаться скручивающие нагрузки относительно продольной оси и провисание их под действием собственной массы и массы примыкающих трубопроводов, а также обеспечиваться защита гибкого элемента от механических повреждений и попадания искр при сварке.

Монтажная длина сильфонных, линзовых и сальниковых компенсаторов принимается с учетом поправок на температуру наружного воздуха при монтаже.

Растяжение компенсаторов до монтажной длины следует производить с помощью приспособлений, предусмотренных конструкцией компенсатора, или натяжными монтажными устройствами. Растяжка (сжатие) компенсаторов оформляется актом.

При монтаже сальниковых компенсаторов обеспечивается свободное перемещение подвижных частей и сохранность набивки.

Сварное соединение, перед сваркой которого следует производить растяжку компенсатора, должно быть указано в рабочей документации. Допускается во избежание снижения компенсационной способности компенсатора и его перекоса использовать соединение, расположенное на расстоянии не менее $20 D_y$ от оси симметрии компенсатора.

Линзовые, сильфонные и сальниковые компенсаторы следует устанавливать в сборочных единицах и блоках коммуникаций при их укрупненной сборке, применяя при этом дополнительные жесткости для предохранения компенсаторов от деформации и повреждения во время транспортировки, подъема и установки. По окончании монтажа временно установленные жесткости удаляются.

Отклонение трубопроводов от вертикали (если нет указаний в проекте) не должно превышать 2 мм на один метр длины трубопровода.

При монтаже вертикальных участков трубопроводов в рабочей документации должны быть предусмотрены меры, исключающие возможность сжатия компенсаторов под действием массы вертикального участка трубопровода.

Окончательное закрепление трубопроводов в каждом температурном блоке при укладке на эстакадах, в каналах или лотках должно производиться, начиная от неподвижных опор.

Антикоррозионную защиту и тепловую изоляцию трубопроводов до установки их в проектное положение допускается выполнять с условием обеспечения сохранности защитного покрытия при производстве последующих монтажных работ.

В соответствии с Правилами ПБ 03-585-03 [49], монтаж трубопроводов с условным давлением свыше 10 МПа (Правила устанавливают требования к монтажу трубопроводов с давлением до 320 МПа) имеет свои особенности, которые перечислены ниже.

Сборочные единицы и детали трубопроводов должны соответствовать государственным стандартам и нормативно-технической документации. При приемке в монтаж трубопроводов и других изделий следует проверять:

- резьбовые присоединительные концы труб, деталей и арматуры – прокручиванием фланцев;
- резьбу шпилек – прокручиванием гаек;
- геометрические размеры присоединительных концов труб и соединительных деталей, арматуры, фланцев, муфт, крепежных деталей и прокладок в количестве 2% от каждой партии, но не менее 2 штук;
- соответствие количества труб, соединительных деталей, фланцев, линз, муфт, арматуры, крепежных деталей и прокладок количеству, указанному для этих партий в сопроводительной документации.

Трубопроводная арматура, независимо от испытаний и гарантийного срока, перед выдачей в монтаж подлежит испытанию на прочность и герметичность.

Требования к очистке, смазке, сборке, соосности и зазорам в разъемных соединениях трубопроводов устанавливаются в проектной документации или нормативно-технической документацией.

Не допускается устранять зазоры, не параллельности или не соосности между сборочными единицами или деталями путем натяжения трубопроводов.

Крепежные детали должны быть одной партии и затянуты с помощью устройств, обеспечивающих контроль усилия натяжения. Порядок сборки соединений, контроля усилий затяжки должны быть приведены в нормативно-технической документации или производственной инструкции (технологической карте) с учетом величин, приведенных в рабочей документации или (при отсутствии) в таблице 1.4.

В таблице даны усилия затяжки для фланцевых соединений со сферическими линзами и прокладками восьмиугольного сечения.

В том случае, если в графе приводятся две цифры, разделенные на числитель и знаменатель, то в числителе указывается усилие затяжки одной шпильки для фланцевых соединений D_y 15 мм – с четырьмя шпильками; D_y 32 мм – с шестью шпильками; D_y 80 мм – с восемью шпильками; D_y 100 и 200 мм – с десятью шпильками, а в знаменателе – усилие затяжки одной шпильки для соединений D_y 15 мм – с тремя шпильками; D_y 32 мм – с четырьмя шпильками; D_y 80 мм – с шестью шпильками; D_y 100 и 200 мм – с восемью шпильками.

Таблица 1.4

D_y , мм	Усилие затяжки одной шпильки, кН, при условном давлении, МПа										
	20	25	32	40	50	64	80	100	160	250	320
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	1,1	1,2	1,3	1,5	1,5	1,9	2,2	2,5	24	24	30
10	3,1	3,3	3,7	4	4,5	5,2	6	6,6	36	36	40,6
15	7,0	7,5	8,2	6,8	7,6	8,8	10	11,5	48	48	55
				9	10						
25	11,8	12,7	13,9	15,8	17	19,7	22,6	26	46,5	46,5	74,1
32	21	22,5	24,5	27	20	23	26,5	31	64,5	64,5	100,3
					30						
40	21	22,5	24,5	27	30	34,5	39,5	46	75,5	82	135,5
50	37,5	40	44	48,5	54	62,5	71	82,5	91	99,8	150
65	51,5	55	60	67	74	85	98	114	124	134,5	167,8
80	77	82	90	99	110	95	110	127	155,2	-	-
						127	145				
100	100	107	117	97	108	124	142	165	-	-	-
				130	144						
125	116	125	136	151	168	194	222	257	-	-	-
150	173	185	200	223	250	286	327	380	-	-	-
200	280	300	330	290	324	470	530	620	-	-	-
				360	400						
300	-	-	364	-	-	-	-	-	-	-	-
350	-	-	494	-	-	-	-	-	-	-	-
400	-	-	522	-	-	-	-	-	-	-	-

В собранном фланцевом соединении шпильки должны выступать из гаек не менее чем на один виток резьбы.

Не допускается установка шайб между фланцами и гайками. При накрутом фланце резьбовая часть присоединительного конца трубы должна выступать от торца фланца на один шаг резьбы.

В рабочей документации расстояние между фланцевыми, резьбовыми соединениями и отверстиями в стенах, перегородках, перекрытиях и других

строительных конструкциях следует принимать с учетом возможности сборки и разборки соединения с применением механизированного инструмента, при этом для трубопроводов с условным диаметром до 65 мм указанное расстояние должно быть не менее 300 мм и не менее 600 мм для трубопроводов большего диаметра.

В отношении документация и маркировки трубопроводов или сборочных единиц, поставляемых заводами-изготовителями, Правила ПБ 03-585-03 [49] устанавливают следующие требования.

Каждый трубопровод или сборочная единица поставляется заказчику со следующей документацией:

- сборочный чертеж трубопровода или сборочной единицы в двух экземплярах;

- паспорт на сборочные единицы стальных трубопроводов комплектных трубопроводных линий;

- копии паспортов на арматуру и детали трубопровода, крепежные детали и уплотнения;

- ведомость на упаковку (комплектовочная ведомость) в одном экземпляре;

- упаковочный лист в трех экземплярах, из которых один экземпляр должен отправляться почтой, один экземпляр – находится в упаковочном ящике, а один экземпляр – на упаковочном ящике.

Сборочные единицы из нержавеющей стали и стали 20ЮЧ маркируются яркой несмываемой краской. Сборочные единицы из других сталей маркируются клеймением.

Маркировать следует на расстоянии не менее 200 мм от одного из присоединительных концов с указанием в числителе шифра технологической установки, в знаменателе – шифра линии трубопровода. Маркировать необходимо шрифтом в соответствии с нормативно-технической документацией.

Схема маркировки сборочных единиц должна быть единой для всех трубопроводов выполняемого заказа.

Места маркировки обводятся яркой несмываемой краской и покрываются бесцветным лаком.

Детали и арматура, не вошедшие в сборочные единицы, маркируются несмываемой краской номером трубопроводной линии по монтажной спецификации.

Каждое упаковочное место труб, поставляемых метражом и входящих в поставочный блок, маркируется с указанием шифра технологической установки, номера поставочного блока, номера трубопроводной линии и буквой «Т». Бирки с маркировкой, нанесенной ударным способом, крепятся с обоих концов упаковки.

На каждом грузовом месте маркировка наносится на ярлыках или непосредственно на торцевых и боковых стенках ящиков яркой несмываемой краской с указанием номера грузового места, числа грузовых мест в данной

трубопроводной линии, получателя и его адреса, отправителя и его адреса, массы (нетто, брутто), габаритных размеров грузового места, манипуляционных знаков («верх», «не кантовать», «место строповки», «центр масс»).

С каждой трубопроводной линией потребителю направляется следующая техническая документация:

- паспорт;
- сведения о трубах и деталях трубопровода;
- сведения о сварных соединениях;
- перечень арматуры, входящей в сборочные единицы стальных комплектных технологических линий;
- акт гидравлического испытания сборочных единиц;
- акт ревизии и испытания арматуры (низкого и высокого давления);
- спецификацию;
- заключение о техническом контроле.

Оформление технической документации осуществляется в установленном порядке.

Ввиду того, что в качестве метода образования соединения при сборке трубопроводов очень часто используется сварка, в Правилах ПБ 03-585-03 [49] приводятся следующие требования к ее использованию.

При изготовлении, монтаже и ремонте трубопроводов и их элементов допускаются к применению все промышленные методы сварки в установленном порядке, обеспечивающие необходимую эксплуатационную надежность сварных соединений.

Газовая (ацетилено-кислородная) сварка допускается для труб из углеродистых и низколегированных неподкаливающихся сталей (17ГС, 09Г2С и др.) с условным диаметром до 80 мм и толщиной стенки не более 3,5 мм при давлении до 10 МПа.

Газовую сварку стыков из низколегированных закаливающих сталей (15ХМ, 12Х1МФ и др.) следует применять при монтаже и ремонте труб с условным диаметром до 40 мм и толщиной стенки не более 5 мм при давлении до 10 МПа.

Сварка трубопроводов и их элементов производится в соответствии с нормативно-технической документацией.

К производству сварочных работ, включая прихватку и приварку временных креплений, следует допускать только сварщиков, аттестованных в установленном порядке.

Для сварки трубопроводов и их элементов следует применять следующие сварочные материалы:

- электроды покрытые металлические по стандартам или техническим условиям на изготовление и поставку конкретной марки электродов;
- электроды вольфрамовые сварочные по стандартам;
- проволока стальная сварочная по стандартам или техническим условиям на конкретную марку проволоки;

- аргон газообразный по стандарту (высшего и первого сортов);
- двуокись углерода (углекислый газ) по стандарту;
- флюс сварочный плавненный по стандарту или техническим условиям на поставку конкретной марки;
- кислород газообразный технический по стандарту;
- ацетилен растворенный и газообразный технический по стандарту.

Сварочные материалы должны иметь сертификаты и удовлетворять требованиям государственных стандартов или технических условий.

При отсутствии сертификатов сварочные материалы допускается использовать после проверки химического состава и механических свойств наплавленного металла.

При получении неудовлетворительных результатов по какому-либо виду испытаний или химическому анализу разрешаются повторные испытания. Повторные испытания проводят на удвоенном количестве образцов по тем видам испытаний, которые дали неудовлетворительные результаты. Если при повторных испытаниях получены неудовлетворительные результаты даже по одному из видов, данная партия сварочных материалов бракуется.

Хранение, подготовка и контроль качества сварочных материалов осуществляются в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

Для аустенитных сварочных материалов, предназначенных для сварки соединений, работающих при температуре свыше 350°C , проводится контроль на содержание ферритной фазы в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. При температуре эксплуатации соединений свыше 350 до 450°C содержание ферритной фазы в наплавленном металле должно быть не более 8% , при температуре свыше 450°C – не более 6% .

Сварочные материалы, предназначенные для сварки соединений из перлитных хромомолибденовых сталей, работающих в водородсодержащих средах при температуре свыше 200°C , должны обеспечивать содержание хрома в наплавленном металле не менее минимального содержания хрома в свариваемой стали, установленного требованиями нормативно-технической документации.

При наличии требований по стойкости сварных соединений против межкристаллитной коррозии аустенитные сварочные материалы испытываются на склонность к межкристаллитной коррозии.

Типы, конструктивные элементы подготовленных кромок и сварных швов должны соответствовать нормативно-технической документации.

Резка труб и подготовка кромок под сварку производится механическим способом. Допускается применение газовой резки для труб из углеродистых, низколегированных и теплоустойчивых сталей, а также воздушно-дуговой и плазменной резки для труб из всех марок сталей. При огневой резке труб должен быть предусмотрен припуск на механическую

обработку, величина которого определяется нормативно-технической документацией.

Газовую, воздушно-дуговую и плазменную резку труб из закаливаемых теплоустойчивых сталей необходимо производить с предварительным подогревом до 200 – 250° С и медленным охлаждением под слоем теплоизоляции.

После огневой резки труб из закаливаемых теплоустойчивых сталей подготовленные под сварку кромки должны быть проконтролированы капиллярной или магнитопорошковой дефектоскопией или травлением. Обнаруженные трещины удаляются путем дальнейшей механической зачистки всей поверхности кромки.

Отклонение от перпендикулярности обработанного под сварку торца трубы относительно образующей не должно быть более:

- 0,5 мм – для D_y до 65 мм;
- 1,0 мм – для D_y свыше 65 до 125 мм;
- 1,5 мм – для D_y свыше 125 до 500 мм;
- 2,0 мм – для D_y свыше 500 мм.

Подготовленные под сварку кромки труб и других элементов, а также прилегающие к ним участки по внутренней и наружной поверхностям шириной не менее 20 мм должны быть очищены от ржавчины и загрязнений до металлического блеска и обезжирены.

Сборка стыков труб под сварку должна производиться с использованием центровочных приспособлений, обеспечивающих требуемую соосность стыкуемых труб и равномерный зазор по всей окружности стыка, а также с помощью прихваток или привариваемых на расстоянии 50 – 70 мм от торца труб временных технологических креплений.

Технологические крепления должны быть изготовлены из стали того же класса, что и свариваемые трубы. При сборке стыков из закаливаемых теплоустойчивых сталей технологические крепления могут быть изготовлены из углеродистых сталей.

При сборке стыков из аустенитных сталей с толщиной стенки трубы менее 8 мм, к сварным соединениям которых предъявляются требования стойкости к межкристаллитной коррозии, приварка технологических креплений не допускается.

При сборке труб и других элементов с продольными швами последние должны быть смещены относительно друг друга. Смещение должно быть не менее трехкратной толщины стенки свариваемых труб (элементов), но не менее 100 мм. При сборке труб и других элементов с условным диаметром 100 мм и менее, продольные швы должны быть смещены относительно друг друга на величину, равную одной четверти окружности трубы (элемента).

При сборке стыка необходимо предусмотреть возможность свободной усадки металла шва в процессе сварки. Не допускается выполнять сборку стыка с натягом.

При сборке труб и других элементов смещение кромок по наружному диаметру не должно превышать 30% от толщины тонкостенного элемента, но не более 5 мм. При этом плавный переход от элемента с большей толщиной стенки к элементу с меньшей толщиной обеспечивается за счет наклонного расположения поверхности сварного шва. Если смещение кромок превышает допустимое значение, то для обеспечения плавного перехода необходимо проточить конец трубы с большим наружным диаметром под углом не более 15°.

Смещение кромок по внутреннему диаметру не должно превышать значений, указанных в таблице 1.5.

Если смещение кромок превышает допустимое значение, то плавный переход в месте стыка должен быть обеспечен путем проточки конца трубы с меньшим внутренним диаметром под углом не более 15°. Для трубопроводов с R_y до 10 МПа допускается калибровка концов труб методом цилиндрической или конической раздачи.

Таблица 1.5

Условное давление R_y , МПа	Категория трубопроводов	Величина смещения внутренних кромок при сборке стыков труб в зависимости от номинальной толщины стенки S , мм	
		кольцевой шов	продольный шов
Свыше 10 до 320 и I категории при температуре ниже -70°C	-	0,10 S , но не более 1 мм	-
До 10	I и II	0,15 S , но не более 2 мм	0,10 S , но не более 1 мм
	III и IV	0,20 S , но не более 3 мм	0,15 S , но не более 2 мм
	V	0,30 S , но не более 3 мм	0,20 S , но не более 3 мм

Отклонение от прямолинейности собранного встык участка трубопровода, замеренное линейкой длиной 400 мм в трех равномерно расположенных по периметру местах на расстоянии 200 мм от стыка, не должно превышать:

- 1,5 мм – для трубопроводов R_y свыше 10 МПа и трубопроводов I категории;

- 2,5 мм – для трубопроводов II - V категорий.

Способ сварки и сварочные материалы при выполнении прихваток должны соответствовать способу и сварочным материалам при сварке корня шва. Прихватки необходимо выполнять с полным проваром и полностью

переплавлять их при сварке корневого шва. К качеству прихваток предъявляются такие же требования, как и к основному сварному шву. Прихватки, имеющие недопустимые дефекты, обнаруженные внешним осмотром, должны быть удалены механическим способом. Прихватки должны быть равномерно расположены по периметру стыка. Их количество, длина и высота зависят от диаметра и толщины трубы, а также способа сварки в документации.

Сборка стыков труб и других элементов, работающих под давлением до 10 МПа, может осуществляться на остающихся подкладных кольцах или съемных медных кольцах.

В отношении опор и подвесок трубопроводов, на которых осуществляется монтаж Правила ПБ 03-585-03 [49] содержат следующие требования.

Трубопроводы следует монтировать на опорах или подвесках. Расположение опор (неподвижных, скользящих, катковых, пружинных и т.д.), подвесок и расстояние между ними определяются проектом.

При отсутствии необходимых по нагрузкам и другим параметрам стандартных опор и подвесок должна быть разработана их конструкция.

Опоры и подвески следует располагать по возможности ближе к сосредоточенным нагрузкам, арматуре, фланцам, фасонным деталям и т.п.

Опоры и подвески рассчитываются на вертикальные нагрузки от массы трубопровода с транспортируемой средой (или водой при гидроиспытании), изоляции, футеровки, льда (если возможно обледенение), а также нагрузки, возникающие при термическом расширении трубопровода.

Опоры и подвески располагаются на расстоянии не менее 50 мм от сварных швов для труб диаметром менее 50 мм и не менее 200 мм для труб диаметром свыше 50 мм.

Материал элементов опор и подвесок, привариваемых к трубопроводу, должен соответствовать материалу трубопровода.

Для обеспечения проектного уклона трубопровода разрешается установка под подушки опор металлических подкладок, привариваемых к строительным конструкциям.

Для трубопроводов, подверженных вибрации, следует применять опоры с хомутом и располагать их на строительных конструкциях. Подвески для таких трубопроводов допускается предусматривать в качестве дополнительного способа крепления.

В проекте при необходимости указываются величины предварительного смещения подвижных опор и тяг подвесок, а также данные по регулировке пружинных опор подвесок.

При применении подвесок в проекте указываются длины тяг в пределах от 150 до 2000 мм кратные 50 мм.

Опоры под трубопроводы должны устанавливаться с соблюдением следующих требований:

- а) они должны плотно прилегать к строительным конструкциям;

б) отклонение их от проектного положения не должно превышать в плане ± 5 мм для трубопроводов внутри помещений и ± 10 мм для наружных трубопроводов; отклонение по уклону не должно превышать $+0,001$;

в) уклон трубопровода проверяется приборами или специальными приспособлениями (нивелиром, гидростатическим уровнем и др.);

г) подвижные опоры и их детали (верхние части опор, ролики, шарики) должны устанавливаться с учетом теплового удлинения каждого участка трубопровода, для чего опоры и их детали необходимо смещать по оси опорной поверхности в сторону, противоположную удлинению;

д) тяги подвесок трубопроводов, не имеющих тепловых удлинений, должны быть установлены отвесно; тяги подвесок трубопроводов, имеющих тепловые удлинения, должны устанавливаться с наклоном в сторону, обратную удлинению;

е) пружины опор и подвесок должны быть затянуты в соответствии с указаниями в проекте; на время монтажа и гидравлического испытания трубопроводов пружины разгружаются распорными приспособлениями.

При необходимости уменьшения усилий от трения следует устанавливать специальные конструкции опор, в том числе шариковые и катковые.

Приварка элементов подвижных опор к трубопроводам из термически упроченных труб и труб контролируемой прокатки не допускается.

В случае возможности изменения геометрических параметров трубопровода при изменении температурных условий, при разработке проекта трубопровода необходимо предусматривать внедрение в его конструкцию устройств компенсации температурных деформаций трубопроводов. В отношении данных устройств Правила ПБ 03-585-03 [49] содержат следующие требования.

Температурные деформации следует компенсировать за счет поворотов и изгибов трассы трубопроводов. При невозможности ограничиться самокомпенсацией (например, на совершенно прямых участках значительной протяженности) на трубопроводах устанавливаются П-образные, линзовые, волнистые и другие компенсаторы.

Не допускается установка линзовых, сальниковых и волнистых компенсаторов на трубопроводах с условным давлением свыше 10 МПа.

П-образные компенсаторы следует применять для технологических трубопроводов всех категорий. Их изготавливают либо гнутыми из цельных труб, либо с использованием гнутых, крутоизогнутых или сварных отводов.

Для П-образных компенсаторов гнутые отводы следует применять только из бесшовных, а сварные – из бесшовных и сварных прямошовных труб. Применение сварных отводов для изготовления П-образных компенсаторов допускается в соответствии со следующими указаниями:

- отводы сварные с условным проходом D_y 150 – 400 мм следует применять для технологических трубопроводов при давлении P_y , не более 6,3 МПа;

- отводы сварные с условным проходом D_y 500 – 1400 мм допускается применять для технологических трубопроводов при давлении P_y не более 2,5 МПа.

Применять водогазопроводные трубы для изготовления П-образных компенсаторов не допускается, а электросварные со спиральным швом рекомендуются только для прямых участков компенсаторов.

П-образные компенсаторы должны быть установлены горизонтально с соблюдением необходимого общего уклона. В виде исключения (при ограниченной площади) их можно размещать вертикально петлей вверх или вниз с соответствующим дренажным устройством в нижней точке и воздушниками. П-образные компенсаторы перед монтажом должны быть установлены на трубопроводах вместе с распорными приспособлениями, которые удаляют после закрепления трубопроводов на неподвижных опорах.

Линзовые компенсаторы, осевые, а также линзовые компенсаторы шарнирные применяются для технологических трубопроводов в соответствии с нормативно-технической документацией. При установке линзовых компенсаторов на горизонтальных газопроводах с конденсирующимися газами для каждой линзы должен быть предусмотрен дренаж конденсата. Патрубок для дренажной трубы изготавливают из бесшовной трубы. При установке линзовых компенсаторов с внутренним стаканом на горизонтальных трубопроводах с каждой стороны компенсатора должны быть предусмотрены направляющие опоры на расстоянии не более $1,5 D_y$ компенсатора. При монтаже трубопроводов компенсирующие устройства должны быть предварительно растянуты или сжаты. Величина предварительной растяжки (сжатия) компенсирующего устройства указывается в проектной документации и в паспорте на трубопровод. Величина растяжки может изменяться на величину поправки, учитывающей температуру при монтаже. Качество компенсаторов, подлежащих установке на технологических трубопроводах, должно подтверждаться паспортами или сертификатами. При установке компенсатора в паспорт трубопровода вносят следующие данные:

- техническую характеристику, завод-изготовитель и год изготовления компенсатора;
- расстояние между неподвижными опорами, необходимую компенсацию, величину предварительного растяжения;
- температуру окружающего воздуха при монтаже компенсатора и дату.

Расчет П-образных, Г-образных и Z-образных компенсаторов следует производить в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

В целом, сборка трубопроводов в подавляющем большинстве случаев производится методом пригонки, при этом в качестве детали-компенсатора выступает замыкающий участок трубопровода, т.е. заготовка для него подвергается перед монтажом механической обработке на основании точных натуральных замеров.

Глава 2. Испытания, их роль и место в системе технологической организации производства

Известно, что проектирование и создание любых изделий – это продолжительный процесс, состоящий из нескольких последовательных этапов. Наиболее четко границы этих этапов проявляются в случае создания сложных образцов техники, к которым, несомненно, относится и подводная робототехника. Для опытно-конструкторских работ (ОКР) такими этапами являются: этап разработки технического задания, этап разработки технического предложения, эскизный проект, технический проект, рабочий проект, этап создания и отработки опытной партии изделий и, наконец, этап серийного производства.

Одним из наиболее ответственных этапов, во многом определяющим качество всей ОКР, является этап разработки технического задания (ТЗ). Согласно ГОСТ 15.001-73 [25] (утратившему силу, но не актуальность), ТЗ разрабатывают на основе результатов выполненных научно-исследовательских и экспериментальных работ, научного прогнозирования, анализа передовых достижений и технического уровня отечественной и зарубежной техники, изучения патентной документации, а также на основе исходных требований заказчика – заявки. При этом ТЗ является исходным документом для разработки продукции и технической документации на нее. В ТЗ включают прогнозируемые показатели технического уровня и качества продукции, в том числе уровня стандартизации и унификации, а также указывают лимитную цену продукции, подлежащей разработке. Одно из важных требований к ТЗ состоит в том, что оно не должно ограничивать инициативу разработчика при поиске и выборе им оптимального решения поставленной задачи.

В соответствии с ГОСТ 19.201-78 [28], ТЗ должно содержать следующие разделы:

- введение;
- основания для разработки;
- назначение разработки;
- требования к программе или программному изделию;
- требования к программной документации;
- технико-экономические показатели;
- стадии и этапы разработки;
- порядок контроля и приемки;

Также в ТЗ допускается включать приложения.

Этап составления ТЗ особенно важен, поскольку именно на этом этапе определяются ориентировочная экономическая эффективность изделия, предполагаемая годовая потребность в нем, экономические преимущества разработки по сравнению с лучшими отечественными и зарубежными образцами или аналогами, устанавливаются необходимые стадии разработки, этапы и содержание работ (перечень программных

документов, которые должны быть разработаны, согласованы и утверждены), а также, сроки выполнения этапов и работы в целом и определяются исполнители. Кроме этого, в ТЗ прописываются виды испытаний разрабатываемого изделия, общие требования к приемке работы, требования по патентной чистоте разработок и документация по охране прав на интеллектуальную собственность.

ГОСТ 2.103-68 «Единая система конструкторской документации. Стадии разработки» [13] выделяет следующие стадии разработки конструкторской документации изделий всех отраслей промышленности:

- техническое предложение;
- эскизный проект;
- технический проект;
- рабочая конструкторская документация опытного образца;
- рабочая конструкторская документация серийного (массового) производства.

Указанный ГОСТ дает следующие определения стадий разработки конструкторской документации.

Техническое предложение – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации изделия на основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможных решений изделий, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий и патентные исследования. Техническое предложение после согласования и утверждения в установленном порядке является основанием для разработки эскизного (технического) проекта.

Эскизный проект – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление о назначении, об устройстве, принципе работы и габаритных размерах разрабатываемого изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия. Эскизный проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки технического проекта или рабочей конструкторской документации.

Технический проект – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации. Технический проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки рабочей конструкторской документации.

Конечной целью каждого из перечисленных этапов является улучшение качества будущего изделия и оптимизация его параметров. Для того, чтобы улучшить какое-либо техническое решение, необходимо иметь

реальные, подтвержденные практикой, сведения о его функционировании в рабочих условиях. Поэтому испытания, как эффективное средство улучшения качества изделия, неизбежно сопровождают весь процесс создания любой сложной техники.

Согласно вышеупомянутому ГОСТу [13], исследование характеристик изделия и его составляющих частей может производиться на электронных или материальных макетах (далее будет использоваться термин «модель»).

При этом моделирование может применяться:

а) на стадии технического предложения с целью выявления и проверки вариантов основных конструктивных решений разрабатываемого изделия или его составных частей, анализа различных вариантов изделия, выявления дополнительных или уточненных требований к изделию;

б) на стадии эскизного проекта с целью проверки принципов работы изделия или его составных частей, условий размещения в отведенном пространстве, условий эргономичности использования и других свойств изделия или его составных частей;

в) на стадии технического проекта с целью проверки основных конструктивных решений разрабатываемого изделия или его составных частей по пространственно-кинематическому взаимодействию с другими изделиями и составных частей между собой, а также условий эргономичности;

г) на стадии рабочего проекта для предварительной проверки целесообразности изменения отдельных частей изготавливаемого изделия до внесения этих изменений в рабочие конструкторские документы опытного образца (опытной партии).

При этом модели могут выполняться как в материальной форме (материальный макет), так и в электронной форме (электронный макет).

Ниже в табл. 2.1 приведены этапы работ, выполняемых на каждой стадии разработки конструкторской документации в соответствии с ГОСТ 2.103-68 «Единая система конструкторской документации. Стадии разработки» [13].

Таблица 2.1

Стадия разработки	Этапы выполнения работ
Техническое предложение	Подбор материалов. Разработка технического предложения с присвоением документам литеры «П». Рассмотрение и утверждение технического предложения.
Эскизный проект	Разработка эскизного проекта с присвоением документам литеры «Э». Изготовление и испытание материальных макетов (при необходимости) и (или) разработка, анализ электронных макетов (при необходимости). Рассмотрение и утверждение эскизного проекта.

Стадия разработки	Этапы выполнения работ
Технический проект	<p>Разработка технического проекта с присвоением документам литеры «Т».</p> <p>Изготовление и испытание материальных макетов (при необходимости) и (или) разработка, анализ электронных макетов (при необходимости).</p> <p>Рассмотрение и утверждение технического проекта.</p>
<p>Рабочая конструкторская документация:</p> <p>а) опытного образца (опытной партии) изделия, предназначенного для серийного (массового) или единичного производства (кроме разового изготовления)</p>	<p>Разработка конструкторской документации, предназначенной для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии), без присвоения литеры.</p> <p>Изготовление и предварительные испытания опытного образца (опытной партии).</p> <p>Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и предварительных испытаний опытного образца (опытной партии) с присвоением документам литеры «О».</p> <p>Приемочные испытания опытного образца (опытной партии).</p> <p>Корректировка конструкторской документации по результатам приемочных испытаний опытного образца (опытной партии) с присвоением документам литеры «О₁».</p> <p>Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, – повторное изготовление и испытания опытного образца (опытной партии) по документации с литерой «О₁» и корректировка конструкторских документов с присвоением им литеры «О₂».</p>
<p>Рабочая конструкторская документация:</p> <p>б) серийного (массового) производства</p>	<p>Изготовление и испытание установочной серии по документации с литерой «О₁» (или «О₂»).</p> <p>Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и испытания установочной серии, а также оснащения технологического процесса изготовления изделия, с присвоением конструкторским документам литеры «А».</p> <p>Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, – изготовление и испытание головной (контрольной) серии по документации с литерой «А» и соответствующая корректировка документов с присвоением им литеры «Б».</p>

Таким образом, можно видеть, что на каждом этапе проектирования одновременно с теоретическими расчетами проводятся разнообразные экспериментальные исследования, которые направлены на улучшение характеристик создаваемого изделия. Следовательно, испытания не являются отдельным, изолированным от проектирования или производства, процессом, а неразрывно связаны с ним и представляют одну из неотъемлемых и ответственных его фаз [39].

На рис. 2.1 в схематичном виде показана взаимосвязь испытаний с этапами создания новой продукции.

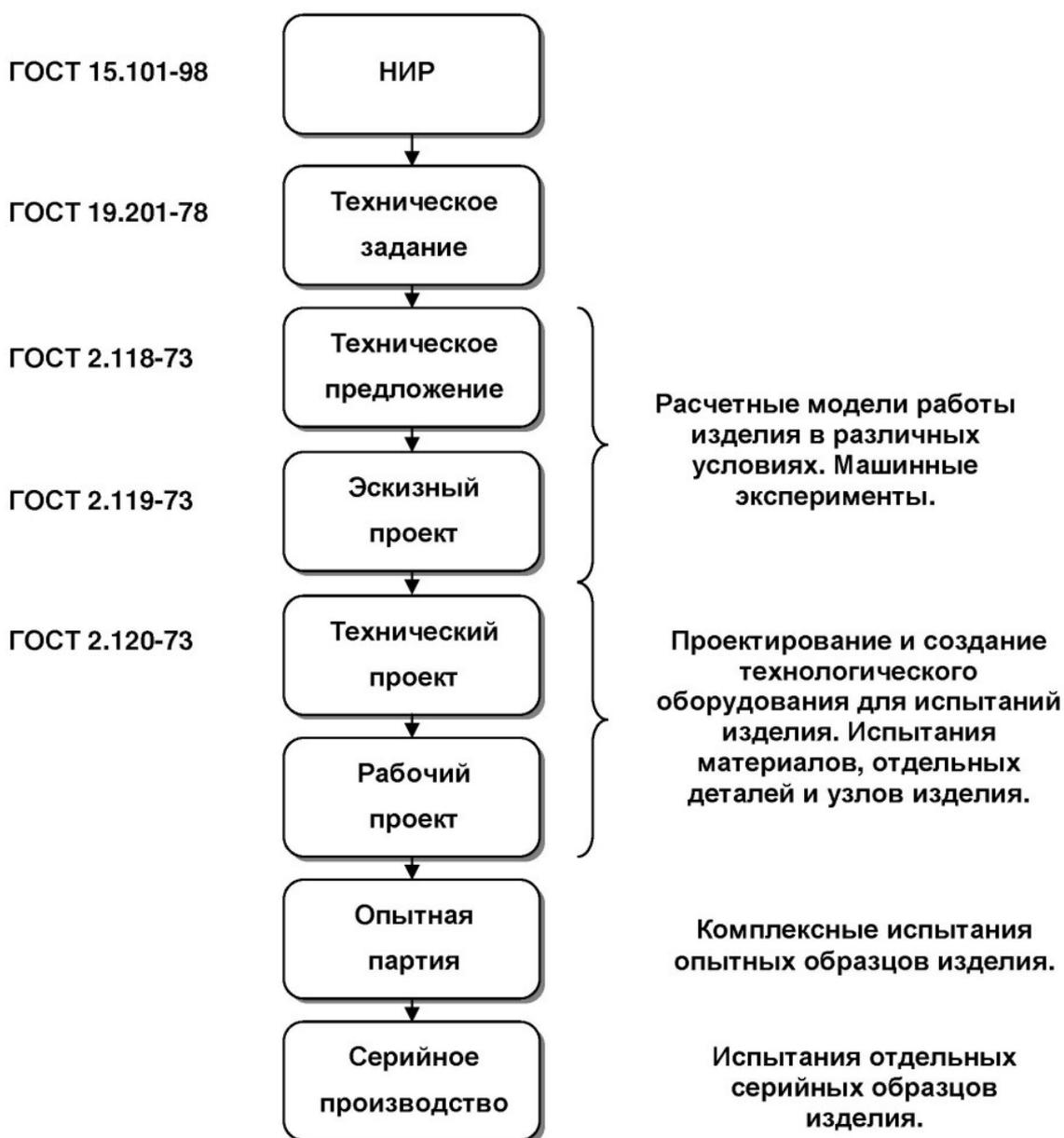


Рис. 2.1 Взаимосвязь испытаний с этапами создания новой продукции

Подводя краткий итог вышесказанному, следует также отметить, что испытания не только сопровождают весь процесс разработки и создания сложной техники, но и являются, за счет своей сложности, одним из

основных факторов, определяющих стоимость и сроки создания технических изделий. Это связано и с тем, что, как показывает опыт, из-за невозможности получения адекватного теоретического описания иногда до 40% возникающих проблем решаются с помощью испытаний.

Итак, с ролью и местом испытаний в процессе проектирования и создания подводной техники все понятно. Теперь необходимо рассмотреть, что же представляют из себя сами испытания, какова их структура и организация.

Любые испытания подводной техники в целом представляют собой весьма сложный процесс, который характеризуется неоднородностью задач, стоящих перед исследователями, значительным количеством этапов, большим объемом информационных потоков, циркулирующих в системе испытаний, многообразием оцениваемых характеристик, ограниченным количеством образцов, выделяемых для проведения испытаний и другими факторами [68].

Испытания – это процесс экспериментального определения качественных и количественных характеристик изделия, его конструктивных, эксплуатационных и иных свойств за счет осуществления различных воздействий или моделирования. Основным признаком любых испытаний является принятие определенных решений на основе полученных результатов.

Выделить все цели, которые могут ставиться перед испытаниями, практически невозможно: они в значительной степени зависят от самого изделия – объекта испытаний. Поэтому ниже перечислим только наиболее часто встречающиеся цели испытаний, общие для любых образцов подводной техники. К ним можно отнести [68]:

- выбор рациональных конструктивно-технических и технологических решений при создании новых изделий;
- доведение изделия до установленного уровня качества;
- оценка качества изделия при его постановке на серийное производство и в процессе производства;
- поддержание уровня качества изделий при их поставке заказчикам, в том числе зарубежным.

Испытания всегда состоят из нескольких этапов. Основными из них являются планирование испытаний, организация испытаний, проведение испытаний, обработка полученных результатов испытаний, их анализ и выработка решения о дальнейших действиях в отношении изделия.

Рассмотрим обозначенные этапы более подробно.

Этап планирования испытаний заключается в разработке комплекса мероприятий, призванных обеспечить достижение целей и решение задач испытаний. Планирование предусматривает распределение материальных, временных, финансовых и людских ресурсов между различными видами деятельности в рамках испытаний на всех этапах их реализации. При этом необходимо стремиться к оптимизации такого распределения (об этом ниже).

На этапе планирования испытаний в обязательном порядке составляются программа и методика испытаний, которые включают в себя все основные данные, которые могут потребоваться исследователям в процессе испытаний.

Этап организации испытаний предполагает подготовку выбранного помещения или полигона к проведению экспериментов: доставку и монтаж необходимого оборудования, сборку испытательного стенда и монтаж на него объекта испытаний, поверку и калибровку средств измерений и другие подобные операции.

Этап проведения испытаний предусматривает реализацию разработанной программы испытаний. При этом, в случае необходимости, возможно внесение в нее изменений или дополнений. На этом этапе происходит получение информации о функционировании объекта испытаний в соответствии с утвержденными методиками испытаний.

На этапе обработки информации происходит преобразование информации, полученной от расположенных в контрольных точках датчиков (чувствительных элементов или органов чувств), в вид, доступный для проведения анализа (как правило, графический или табличный). То есть, этап обработки информации – это этап получения и представления статистических характеристик результатов испытаний.

Этап анализа результатов испытаний предусматривает проведение ряда оценочных действий, таких, как сравнение экспериментальных зависимостей с зависимостями, полученными аналитическим (расчетным) путем, оценка дисперсии, выработка информации о характеристиках и функционировании объекта и т.д. Конечной информацией, формируемой на этапе анализа информации, в общем случае, является заключение о соответствии или несоответствии изделия заданным требованиям.

Последним необходимым этапом, завершающим испытания, является этап принятия решений. На основании полученных экспериментальных данных могут быть приняты различные решения, например, о возможности предъявления изделия на приемочные испытания, об окончании освоения серийного производства изделия, о возможности его продолжения, о постановке изделия на производство, о присвоении изделию той или иной категории качества и другие.

Как отмечалось ранее, испытания, проводимые на каждом этапе создания изделия, позволяют улучшить его качество. Это происходит за счет того, что во время испытаний наиболее эффективно выявляются недостатки конструкции изделия и технологии его изготовления, отклонения от них, допущенные при производстве, скрытые дефекты материалов и комплектующих изделий. Кроме этого, испытания могут позволить сделать выводы о резервах повышения качества разработанного варианта изделия, подтвердить адекватность использовавшихся при проектировании методик расчета или уточнить их.

Ранее, при рассмотрении этапа планирования испытаний, был упомянут вопрос необходимости оптимизации распределения материальных,

временных, финансовых и людских ресурсов между различными видами деятельности в рамках испытаний на всех этапах их реализации. Это может быть сделано за счет представления процесса экспериментальной отработки изделия в виде многоуровневой иерархической структуры (рис. 2.2). При этом к нижним уровням структуры могут быть отнесены испытания материалов и деталей, а к верхним – испытания сборочных единиц и комплексные испытания изделия.



Рис. 2.2 Структура типовой иерархии испытаний

Как показывает практика, массовые испытания в этом случае будут проводиться на нижних уровнях экспериментальной обработки, где могут выявляться неоднородности, микроструктурные дефекты и редко встречающиеся производственные дефекты материалов и деталей, а на верхних уровнях будут иметь место единичные испытания только для подтверждения работоспособности изделия и выявления систематических конструктивных и производственных дефектов, которые могут возникнуть при сборке изделия и сборочных единиц.

Такое представление позволяет в значительной степени оптимизировать программу экспериментальной отработки путем определения и распределения объемов и сроков проведения испытаний для каждого уровня.

Теперь более подробно рассмотрим, каким образом построен сам процесс испытаний. Этот процесс обобщенно может быть представлен в виде организационно-технической структуры (рис. 2.3), или системы испытаний, которая представляет собой совокупность средств испытаний и исполнителей, взаимодействующих с объектом испытаний.

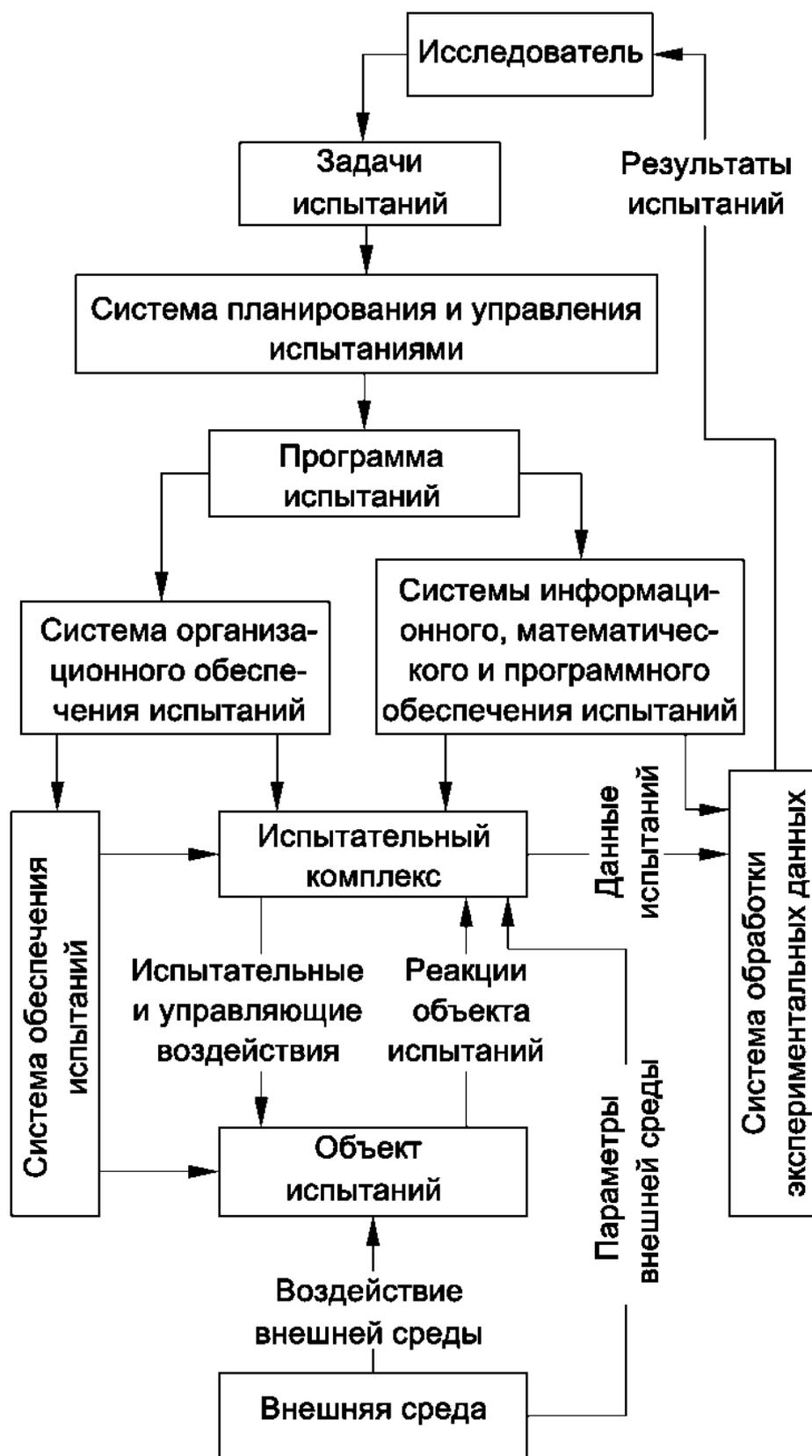


Рис. 2.3 Обобщенная структура системы испытаний

Основными составляющими этой структуры являются:

- объект испытаний;
- испытательный комплекс;

- система планирования и управления испытаниями;
- система обработки экспериментальных данных;
- система обеспечения испытаний;
- система организационного обеспечения испытаний;
- система информационного обеспечения испытаний;
- система математического обеспечения испытаний;
- система программного обеспечения испытаний.

В соответствии с ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные понятия» [27] (см. Приложение 1), объект испытаний – это продукция, подвергаемая испытаниям.

Основной системой, обеспечивающей проведение испытаний, является испытательный комплекс. Он включает в себя все средства создания условий и воздействий, имитирующих реальные обстоятельства работы объекта испытаний, а также всю измерительную аппаратуру, позволяющую получать сведения о функционировании и реакции объекта на различные возмущения. Исходя из этого, можно отметить, что к основным функциям испытательного комплекса относятся:

- формирование, имитация реальных воздействий и условий функционирования объекта испытаний;
- измерение параметров и характеристик объекта испытаний и внешней среды;
- сбор, передача, хранение и отображение информации о процессе испытаний;
- управление объектом испытаний;
- диагностика и прогнозирование состояния объекта испытаний и средств испытаний.

Система планирования и управления испытаниями используется при подготовке испытаний. На нее возлагается задача планирования испытаний. С ее помощью осуществляется:

- разработка целей испытаний, требований, предъявляемых к ним, и критериев их оценки;
- выбор видов испытаний, необходимых для заданного объекта испытаний, способов их организации и объема используемых технических, людских и временных ресурсов;
- разработка плана проведения испытаний, их программы и методики и других нормативных, справочных, технических и технологических документов;
- определение перечня и форм представления промежуточных и конечных результатов испытаний.

Система обработки экспериментальных данных является одной из необходимых и наиболее ответственных систем при организации любых испытаний, поскольку от нее зависит качество информации, по которой

должны быть приняты решения о результатах испытаний. Эта система осуществляет:

- сбор и накопление экспериментальных данных в процессе испытаний;
- обработку в режиме реального времени экспериментальных данных для текущей оценки хода испытаний и принятия решений по управлению работой задействованных технических и программных средств;
- конечную обработку, систематизацию и анализ данных, полученных в ходе экспериментов;
- долгосрочное хранение экспериментальной информации и создание тематических банков данных, необходимых для организации и оценки последующих экспериментов;
- создание отчетных материалов и документов, подготовку электронных носителей экспериментальной информации.

Система обеспечения испытаний включает элементы, не являющиеся составными частями испытательного комплекса, но необходимые в процессе испытаний. К таким элементам можно отнести подъемно-транспортное оборудование, технические средства энергообеспечения, системы водоснабжения, системы подготовки сжатых газов (например, воздуха высокого давления), систему жизнеобеспечения персонала, занятого проведением испытаний, систему связи, службы ремонта и технического обслуживания и другие.

Система организационного обеспечения отвечает за всю организацию процесса испытаний. К ее функциям относятся выбор, подготовка и оборудование помещения (полигона) для проведения испытаний, размещение персонала, контроль за действиями структурных подразделений по управлению, обеспечению функционирования, техническому обслуживанию, ремонту элементов системы испытаний и другие организационные мероприятия.

Система информационного обеспечения испытаний имеет своей задачей информационную поддержку проводимых экспериментов. К ее функциям относят хранение и представление в необходимом виде информации, которая может потребоваться персоналу в процессе испытаний: нормативных, справочных, технических, технологических и иных документов, сведений о результатах ранее выполненных испытаний и других данных.

Система математического обеспечения испытаний используется для решения аналитических проблем, возникающих в процессе испытаний, математического моделирования процессов, происходящих с объектом испытаний, а также может привлекаться в качестве основы автоматизации всей в целом структуры испытаний.

Система программного обеспечения испытаний, как и следует из ее названия, занимается программной поддержкой исследований. При этом, как и в других областях, программное обеспечение испытаний делится на общесистемное и специальное. К общесистемному программному

обеспечению относятся используемая операционная система и набор стандартных программ, которые решают задачи планирования и организации процесса обработки данных, их ввода-вывода, подготовки и отладки специальных программ и других вспомогательных операций обслуживания. Специальное программное обеспечение обычно представлено программами, решающими узконаправленные задачи управления сбором и обработкой экспериментальных данных.

Не случайно на рис. 2.3 системы математического информационного и программного обеспечения сведены в один блок. Это сделано потому, что на практике эти системы часто являются совмещенными друг с другом – например, система математического обеспечения испытаний может быть представлена в виде специального программного обеспечения. Кроме этого, понятно, что в настоящее время базой для всех этих систем в подавляющем большинстве случаев является компьютер.

Функционирование описанной выше системы можно рассматривать как совокупный процесс управления несколькими параллельными процессами (процессы функционирования описанных ранее систем), конечной целью которого является исследование свойств и особенностей функционирования объекта испытаний за счет осуществления воздействий на него и оценки реакций объекта на эти воздействия. Таким образом, система испытаний, по существу, является информационной системой контроля и управления, отличающейся от других подобных систем некоторой спецификой объектов управления, а также степенью определенности и объемом контролируемых данных. При этом для нее входом является программа (задачи) испытаний, а выходом – результаты испытаний.

Эффективно действующая система испытаний должна удовлетворять ряду требований. Она должна:

1. Обеспечивать точность, достоверность и полноту получаемых экспериментальных данных.
2. Иметь требуемое быстродействие и возможность получения и предварительной оценки данных испытаний в режиме реального времени (особенно актуально для испытаний систем, аварии на которых могут повлечь серьезные экологические и другие последствия).
3. Обеспечивать надежность функционирования всех технических средств испытаний.
4. Иметь способность адаптироваться к изменению задач и условий испытаний, составу и видам экспериментальных данных, видам и параметрам контролируемых и управляющих воздействий, методам обработки и представления результатов опытов.
5. Быть универсальна по отношению к видам и объектам испытаний.
6. Обеспечивать удобство восприятия персоналом информации.
7. Обеспечивать эффективную защиту данных.

8. Быть безопасна, в том числе для людей и экологии.
9. Обеспечивать простоту технического обслуживания и ремонтпригодность всех элементов.

Рассмотрим документы, которые сопровождают испытания. В случае организации любых испытаний основными документами, регламентирующими их проведение, являются программа и методика испытаний, которые должны оформляться в обязательном порядке. Упомянутый ранее ГОСТ 16504-81 [27] определяет эти документы следующим образом:

- программа испытаний – организационно-методический документ, обязательный к выполнению, устанавливающий объект и цели испытаний, виды, последовательность и объем проводимых экспериментов, порядок, условия, место и сроки проведения испытаний, обеспечение и отчетность по ним, а также ответственность за обеспечение и проведение испытаний;

- методика испытаний – организационно-методический документ, обязательный к выполнению, включающий метод испытаний, средства и условия испытаний, отбор проб, алгоритмы выполнения операций по определению одной или нескольких взаимосвязанных характеристик свойств объекта, формы представления данных и оценивания точности, достоверности результатов, требования техники безопасности и охраны окружающей среды.

Содержание программы и методики испытаний определяют ГОСТ 19.301-79 «ЕСПД. Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению» [15] и ГОСТ РВ 15.211 «Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок разработки программ и методик испытаний опытных образцов изделий. Основные положения» [27].

Программы и методики испытаний опытных образцов изделий подводной техники разрабатывают на основе технического задания (ТЗ), конструкторской и программной документации в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 15.211 [27] с использованием (при наличии) типовых программ и методик испытаний и других нормативных документов, касающихся вопросов организации и проведения испытаний конкретного изделия подводной техники.

Программы и методики испытаний должны предусматривать применение прогрессивных, экономически обоснованных и обеспечивающих необходимую достоверность методов проведения испытаний с использованием в необходимых случаях [27]:

- полученных ранее результатов теоретических и экспериментальных работ по созданию опытного образца изделия;

- результатов моделирования процессов функционирования образца изделия или его отдельных составных частей, особенно в условиях, которые невозможно полностью или частично реализовать в процессе испытаний;

- моделирования условий применения образца изделия;

- программных средств для моделирования процессов испытаний и обработки их результатов;

- методов ускоренных испытаний, если обычные методы требуют неприемлемо большой продолжительности испытаний.

Методики испытаний разрабатывают на основе ТЗ, исходя из необходимости получения достоверных результатов, подтверждающих соответствие испытываемых опытных образцов изделий требованиям ТЗ на выполнение опытно-конструкторских работ (ОКР).

При разработке методик испытаний используют типовые методики испытаний при их наличии. При этом отдельные положения типовых методик испытаний могут быть уточнены и конкретизированы в разрабатываемых методиках испытаний с целью учета особенностей опытных образцов изделий и условий проведения испытаний [27].

Содержание программы и методики испытаний приведено соответственно в Приложениях 2 и 3 настоящей работы. Приложение 4 содержит правила оформления программ и методик испытаний.

Касаясь тематики настоящей работы, можно отметить, что испытания элементной базы подводной робототехники являются очень многочисленными и поэтому требуют специального технологического оборудования для их проведения. В качестве такого оборудования применяются специализированные исследовательские стенды, позволяющие внутри специальных камер имитировать внешние условия на заданной глубине погружения. Таким образом, испытания, рассматриваемые в настоящей работе, преимущественно относятся к категории контрольных стендовых испытаний, т.е. испытаний, целью которых является установление факта соответствия (или несоответствия) характеристик исследуемого объекта испытаний заданным требованиям, проводимых на испытательном оборудовании. В этом случае на основе результатов испытаний может быть принято решение о работоспособности подводного технического средства во всем диапазоне гидростатического противодавления.

Глава 3. Особенности испытаний подводной техники

Как было отмечено ранее, техника, работающая в условиях морской среды, существенно отличается от техники, функционирующей в среде воздушной. В этой связи, методы испытаний, принятые, например, в авиационной или ракетной технике, будут неприменимы для подводных технических средств. Для того, чтобы в этом убедиться, достаточно сравнить основные факторы, на устойчивость к которым могут испытываться авиационная и ракетно-космическая техника и подводная техника.

Так, авиационная и ракетная техника в наземных условиях могут отрабатываться на воздействие следующих факторов [66]:

- климатических (воздействие повышенной и пониженной температуры внешней среды, воздействие изменения температуры внешней среды, воздействие повышенной влажности, воздействие солнечного излучения, воздействие пониженного атмосферного давления, статическое и динамическое воздействие пыли (песка), воздействие воды (дождя), воздействие атмосферы с коррозионно-активными агентами);

- космических (воздействие глубокого вакуума и пониженной температуры, воздействие микрометеоритных потоков, воздействие невесомости, комбинированное воздействие факторов космического пространства);

- искусственных (воздействие вибрации, ударные воздействия, воздействие линейных ускорений, воздействие акустического шума, комбинированные механические, климатические, механоклиматические и иные воздействия).

Кроме наземной отработки, в обязательном порядке должны проводиться и летные испытания авиационной и ракетной техники.

В свою очередь, подводная техника испытывает существенное воздействие следующих основных факторов, на устойчивость к которым она должна испытываться:

- глубина погружения (внешнее давление). Это самый значимый для подводной техники фактор. Известно, что с увеличением глубины на каждые 10 метров, давление среды возрастает на 0,1 МПа (1 атм). Это значит, что подводный объект, работающий на глубине 6000 м, будет испытывать внешнее давление в 60,1 МПа. Воздействие этого фактора определяет необходимость проведения испытаний всех ответственных частей подводной техники на прочность, а особо ответственных (например, прочных корпусов) – на прочность и герметичность. Кроме этого, например, для пусковых устройств подводных роботизированных средств, внешнее противодействие будет играть существенную роль, напрямую оказывая возрастающее по мере роста противодействия влияние на наблюдаемые характеристики процесса пуска.

- коррозионная устойчивость. Как было отмечено ранее, морская среда является одной из самых агрессивных сред, в которых может работать

техника. К факторам морской коррозии металлов можно отнести состав морской воды (например, присутствие в воде сероводорода облегчает протекание как катодного, так и анодного процессов коррозии), движение водных масс (увеличение скорости потока ведет к усилению коррозии вследствие улучшения аэрации поверхности металла), зазоры и щели в конструкциях (металл в зазорах плохо аэрирован и играет роль анода, проходит его усиленное растворение), биологическую морскую коррозию (присутствие в морской воде различных микроорганизмов (бактерии, моллюски, кораллы и т.д.) обуславливает возникновение биокоррозии металла), контактную коррозию металлов, механический фактор (например, при случайном повреждении защитного покрытия), электрокоррозию (под действием блуждающих токов (особенно в районе портов) или в результате неправильных схем питания на ПА). Особенно актуальным этот фактор становится для подводных технических средств, рассчитанных на длительное автономное пребывание в морской воде, например, ПА-глайдеров.

- изменение температуры воды. Этот фактор влияет на жидкие наполнители систем (например, гидравлических) подводных объектов, особенно имеющие большие коэффициенты объемного расширения;

- сжимаемость рабочих жидкостей. В жидкостях гидравлических систем ПА обычно содержится от 3 до 8% нерастворенного воздуха, а в процессе эксплуатации это количество может повыситься до 15-18% [71]. Сжимаемость рабочей жидкости на малых глубинах ухудшает динамические качества гидропривода, а на больших глубинах определяет основную величину рабочего объема компенсатора;

- обводнение рабочих жидкостей морской водой. Влияние попадания морской воды в гидравлические системы достаточно существенно для подводной техники. При определенных обстоятельствах это может привести к отказу гидравлической системы, чреватому серьезными, а порой и трагическими последствиями;

- влияние морской среды на обеспечение связи между подводной техникой и обеспечивающими судами.

Все это свидетельствует о том, что испытания подводной техники – это отдельный самостоятельный пласт науки об испытаниях, который, к сожалению, пока что не достаточно освещен в научной литературе, что связано с защитой информации.

Кроме того, подводная техника и технология продолжают развиваться, появляются новые технические средства, которые не могут исследоваться в соответствии с уже имеющимися методиками. Для примера можно привести испытания необитаемых ПА, которые за последнее десятилетие получили широкое распространение как в военной, так и в гражданской областях человеческой деятельности.

Если сравнить между собой отработанные методики, на основании которых проводятся испытания подводного оружия, например, торпед, с

методиками, необходимыми для испытаний НПА, то, действительно, можно обнаружить в них много сходства. И те, и другие технические средства действуют автономно, управляются автоматикой, имеют связь с носителем. Но есть и существенные различия:

- во-первых, в способе отделения от носителя – торпеды и другое оружие отделяются принудительно за счет энергетического импульса (источниками энергии могут являться воздух высокого давления (ВД), гидравлика высокого давления, электроэнергия, механическая энергия, пиротехническая энергия и энергетика самого оружия), а НПА отделяются преимущественно за счет действия силы тяжести. При этом вопрос опытной отработки отделения изделия от носителя является очень существенным, поскольку от качества этого процесса зависит безопасность и дальнейшее функционирование как носителя, так и отделившегося изделия;

- во-вторых, в рабочей глубине. Глубина действия торпед определяется, в основном, тактическими соображениями их использования. Некоторые современные торпеды имеют глубину хода до 1000 м. НПА могут погружаться до предельных глубин Мирового океана – до 11000 м.

- в-третьих, существует значительная разница во времени действия. Время действия морского оружия (торпед) составляет десятки минут. Автономность отдельных НПА исчисляется десятками суток;

- в-четвертых, для оружия существенную роль играет скорость, достигающая у торпед 60 узлов (например, у торпеды Mk. 48 мод. 5). Скорость НПА колеблется, как правило, в пределах 2-6 узлов;

- в-пятых, НПА выполняют значительно большее количество заданий, чем оружие, что требует большего количества приборов и аппаратуры, которая, в свою очередь должна проходить испытания;

- и, наконец, в-шестых, вопросы связи НПА с обеспечивающим судном являются значительно более сложными, чем связь носителя с оружием.

Все это приводит к тому, что испытания НПА существенно отличаются от испытаний морского оружия. Это касается как условий испытаний (стендового оборудования или полигонов), так и набора измерительной и регистрирующей аппаратуры, применяемых методик испытаний, критериев эффективности и других аспектов.

Подводя итог вышесказанному, можно отметить следующее.

Испытания подводной техники являются важной составной частью процесса развития подводных технологий. При этом круг вопросов, которые должны решаться с помощью испытаний, постоянно увеличивается, а оборудование, необходимое для организации испытаний становится все более сложным и дорогостоящим. Анализ ГОСТов и нормативной документации по проведению испытаний, а также учет широкого диапазона изменения возможных условий эксплуатации изделий подводной техники, показывают практическую сложность (в первую очередь, по расходу ресурсов и затрачиваемому времени) получения ответов на большой перечень вопросов, стоящих перед разработчиками подводных технических средств.

Поэтому при организации испытаний сложной подводной техники целесообразно использование опыта организации исследований авиационной и космической техники [5]. На основе упомянутого опыта могут быть выработаны следующие основные рекомендации по организации испытаний подводных технических средств.

Во-первых, вся программа предстоящих испытаний должна быть тщательно проанализирована путем моделирования процесса работы испытываемого образца техники с использованием вычислительного комплекса для аналитической оценки ожидаемых значений текущих характеристик динамических процессов и контролируемых величин.

Во-вторых, экспериментальные исследования должны иметь постоянную компьютерную поддержку для сравнения в режиме реального времени аналитически выведенных и получаемых опытных данных с требуемой статистически оправданной точностью. Это определяет необходимость сбора и хранения получаемой, начиная с наладочных испытаний, информации в доступной, предварительно обработанной форме.

В-третьих, аналитически должны быть определены и зафиксированы в программе и методике испытаний технически допустимые с точки зрения безопасности работ границы характеристик объекта испытаний и создаваемых испытательным комплексом условий (например, избыточных давлений в резервуаре-имитаторе глубины).

Таким образом, касаясь тематики настоящей работы, надо отметить, что при организации экспериментальных стендовых исследований, испытательный стенд должен быть оснащен измерительно-вычислительным комплексом, состоящим из измерительной и вычислительной систем, позволяющим оперативно обрабатывать получаемую информацию с учетом ранее полученных опытных и аналитических данных и представлять ее в виде, удобном для человека – оператора [70]. При этом необходимо организовывать работу таким образом, чтобы получаемые опытные данные оперативно использовались для подтверждения адекватности используемых при расчетах математических моделей, а также их корректировки с учетом реальных свойств объекта испытаний и рабочих сред.

Глава 4. Подготовительный этап. Подготовка ВВД. Метрологическое обеспечение испытаний

Подготовительный этап испытаний, или этап их организации, является одним из самых затратных по времени этапов опытной отработки изделий. И это естественно, поскольку именно от тщательности подготовки эксперимента зависит то, насколько успешно он будет проведен. Заранее продуманные действия операторов обеспечивают отсутствие нештатных ситуаций в работе испытательного комплекса и системы обеспечения испытаний.

Подготовка подводной техники к испытаниям – это весьма трудоемкий процесс, при этом количество подготовительных мероприятий напрямую зависит от сложности самого исследуемого объекта. Описать все возможные работы, которые могут проводиться в рамках подготовительного этапа испытаний подводной техники, практически не представляется возможным. Поэтому в рамках данной работы будут рассмотрены только два направления работ: подготовка воздуха высокого давления и метрологическое обеспечение испытаний.

Не вызывает сомнения тот факт, что для значительного количества подводных технических средств одним из необходимых источников энергии, обеспечивающих функционирование оборудования, является воздух высокого давления. Он широко используется в системах жизнеобеспечения экипажей обитаемых ПА, системах регулирования плавучести, пусковых установках подводных аппаратов в силовых приводах автоматики и в других устройствах. Поэтому вопрос подготовки пневмосистем к работе встречается при организации испытаний подводной техники очень часто. При этом качество подготовки систем ВВД имеет большое значение, как для функционирования техники, так и для людей, ее эксплуатирующих. Поэтому ниже приведены некоторые основные сведения об этом процессе.

Для хранения и использования ВВД (а также многих других газов: азота, аргона, кислорода, гелия и т.п.) используют специальные сосуды (баллоны), имеющие прочный корпус и снабженные арматурой, позволяющей регулировать процесс наполнения сосуда и расход газа при его опорожнении. Для наполнения сосудов воздухом (сжатия воздуха до высоких величин давления) используются специальные машины – компрессоры.

Компрессоры могут иметь различные конструкции и принципы действия, но общим для них является назначение: повышение давления и перемещение газа. Так как описание различных компрессоров не входит в задачи данной работы, желающим более подробно разобраться в данном вопросе, можно рекомендовать учебник [47]. Ниже только для справки кратко изложен принцип работы поршневого компрессора.

Поршневой компрессор – это машина, в которой сжатие газа осуществляется перемещением поршня, совершающего возвратно-поступательное движение в цилиндре компрессора. Движение поршня

обеспечивается кривошипно-шатунным механизмом, соединенным с двигателем. На рисунке 4.1 показан теоретический процесс всасывания, сжатия и нагнетания газа поршнем. Рассмотрим этот процесс. Цилиндр, показанный на рисунке, имеет всасывающий и нагнетательный патрубки и одноименные клапаны. Давление во всасывающем патрубке имеет величину p_1 , а в нагнетательном – p_2 .

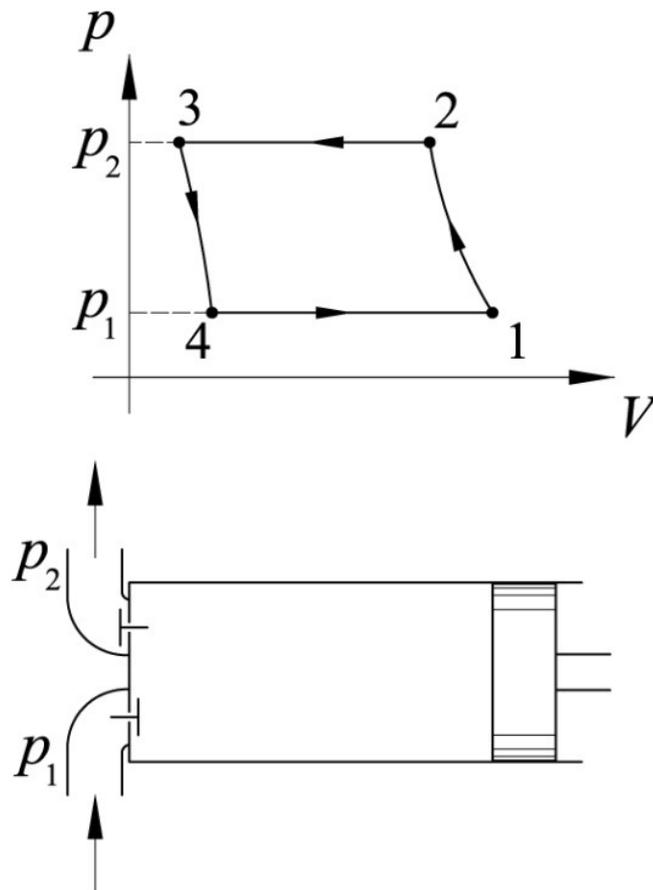


Рис. 4.1 Теоретический цикл поршневого компрессора

В отношении теоретического (идеального) цикла сделаем следующие допущения:

- а) при движении поршня отсутствует мертвое пространство;
- б) потери газа при всасывании и нагнетании отсутствуют;
- в) отсутствует теплообмен между газом и стенками цилиндра;
- г) отсутствуют утечки и перетечки газа из-за неплотностей в клапанах и уплотнениях;

д) всасывающий клапан мгновенно открывается в крайнем левом положении поршня и таким же образом закрывается в крайнем правом его положении. Нагнетательный клапан открывается мгновенно при давлении в цилиндре, равном давлению в нагнетательном патрубке и мгновенно закрывается в момент достижения поршнем крайнего левого положения;

е) трение между движущимися деталями поршневой группы отсутствует.

Тогда процесс работы компрессора можно описать следующим образом.

При начале движения поршня из крайнего левого положения (точка 4) в крайнее правое положение (точка 1) в цилиндре создается давление, имеющее величину ниже давления p_1 , что заставляет всасывающий клапан открыться (перепады давлений, приводящие к открытию клапанов, на рисунке условно не показаны). Далее происходит наполнение цилиндра газом под давлением p_1 . Придя в точку 1, поршень начинает обратное движение. Всасывающий клапан закрывается и происходит сжатие газа в цилиндре до давления p_2 (точка 2). После этого, из-за продолжающегося движения поршня, давление в цилиндре становится выше давления p_2 , вследствие чего нагнетательный клапан открывается. Затем происходит нагнетание газа в нагнетательный патрубок под давлением p_2 . После прихода клапана в крайнее левое положение (точка 3), нагнетательный клапан закрывается, начинается движение поршня вправо, давление в цилиндре резко падает до давления, меньшего чем p_1 , и цикл повторяется.

Понятно, что при необходимости сжатия воздуха до высоких величин давления, требуется несколько ступеней сжатия. В этом случае компрессор будет многоступенчатым. Схема работы такого компрессора приведена на рис. 4.2 [47].

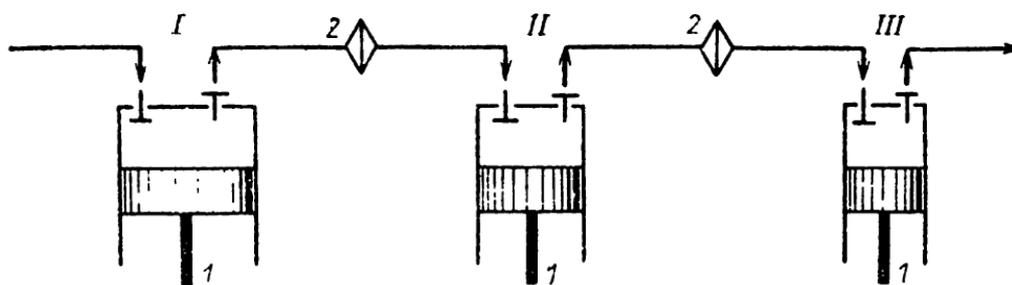


Рис. 4.2 Схема работы многоступенчатого компрессора:
I – цилиндры; 2 – холодильники; I-III – ступени сжатия.

Промежуточные холодильники 2 необходимы для снижения температуры воздуха после каждого цикла сжатия, поскольку при сжатии воздух нагревается, а слишком большое повышение температуры воздуха может привести к нежелательным последствиям, например, воспламенению паров масла-смазки. Также следует обратить внимание на то, что каждая последующая ступень сжатия компрессора имеет меньшее поперечное сечение. Это объясняется повышением давления в каждой следующей ступени при постоянном количестве газа и усилии сжатия, одинаковом для всех ступеней (все поршни соединены с одним коленчатым валом).

Основной проблемой, которая может иметь место при подготовке ВВД, является наличие в сжатом воздухе различных загрязняющих примесей. Наиболее распространенными из них являются твердые частицы, вода и масла. Они могут оказывать влияние друг на друга внутри системы

обеспечения сжатым воздухом и оборудования. Например, твердые частицы в присутствии масла или воды образуют агломераты. Могут образовываться эмульсии, а также происходит осаждение или конденсация (паров масел или водяного пара). Могут присутствовать и другие загрязнения, в том числе жизнеспособные микроорганизмы.

ГОСТ ИСО 8573-1-2005 [22] содержит следующие определения, касающиеся оценки качества сжатого воздуха.

1. Аэрозоль, аэрозоли – взвесь в газовой среде твердых или жидких частиц, а также частиц в многофазной форме (твердой и жидкой) с незначительной скоростью осаждения.
2. Агломерат – скопление, состоящее из соединений двух или более частиц.
3. Точка росы – температура, при которой начинается конденсация водяного пара из воздуха.
4. Микроорганизмы – жизнеспособные колониеобразующие единицы (бактерии, грибы или дрожжи).
5. Масла – смесь углеводородов, состоящих из шести или более атомов углерода (С6).
6. Частица – твердый или жидкий дискретный объект с малой массой.
7. Размер частицы – наибольшее расстояние между наружными границами частицы.
8. Относительное давление водяного пара, относительная влажность – отношение парциального давления водяного пара к давлению насыщенного пара при той же температуре.
9. Пар – газ с температурой ниже критической, при которой он может перейти в жидкую фазу при изотермическом сжатии.

Причины появления загрязняющих элементов в сжатом воздухе частично объясняются природой самого исходного, окружающего нас воздуха. Так, он всегда содержит в себе какое-то количество твердых частиц (пыли, грязи). Он также всегда содержит водяной пар. Это приводит к тому, что при сжатии атмосферного воздуха парциальное давление водяного пара растет, но из-за повышения температуры вода не осаждается. При последующем охлаждении воздуха образуется конденсат и воздух полностью насыщается водяным паром (например, это может иметь место в распределительной системе трубопроводов). Атмосферный воздух также содержит загрязнения газами различных концентраций и, помимо этого, может быть загрязнен жизнеспособными микроорганизмами.

Вторым источником загрязнения сжатого воздуха является оборудование, используемое для сжатия воздуха (компрессор, арматура). Масло, используемое в системе смазки, неизбежно попадает в сжимаемый воздух и может находиться в нем в одной из трех или более фаз: жидкой, аэрозольной или парообразной.

Наличие данных вредных примесей отрицательно сказывается на качестве ВВД, а использование такого воздуха может привести как к износу

и поломке техники (например, увеличение коррозии из-за наличия в воздухе влаги), так и к отрицательному воздействию на организм человека, использующего воздух для дыхания.

Это приводит к тому, что использовать сжатый воздух, полученный непосредственно от компрессора (особенно поршневого), практически нежелательно (если только последний не оснащен достаточным количеством встроенных фильтрующих элементов). Для очистки сжатого воздуха от упомянутых нежелательных примесей применяются осушители, фильтры, сепараторы и масловлагоотделители.

Осушение сжатого воздуха может осуществляться путем пропускания его через баллон, заполненный силикагелем – веществом, впитывающим и удерживающим влагу.

Фильтры используются как в системе забора воздуха для компрессора, так и после сжатия. Конструкции фильтров могут быть различными, например, на входе компрессора может стоять фильтр, содержащий набор кассет, заполненных металлической стружкой, смазанной индустриальным маслом. При этом воздух, проходит в зазоры стружки, заполненные маслом, и частицы грязи оседают в нем.

Сепараторы используют циклонное вращение сжатого воздуха, что позволяет отделить от него почти все примеси.

Масловлагоотделители могут использовать поворот струи сжатого воздуха для отделения влаги и масла за счет инерции, центробежные силы (масловлагоотделители типа центрифуг) или принцип удара струи воздуха о преграду (например, лист с отверстиями).

На рисунке 4.3 приведен пример системы очистки и осушки сжатого воздуха, предназначенного для работы пневмооборудования.

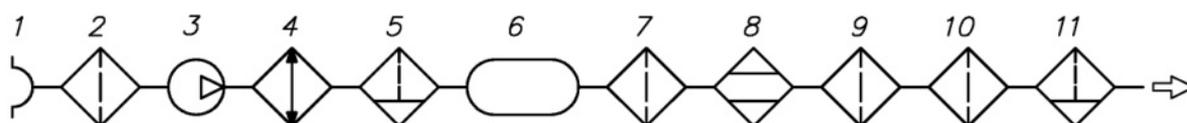


Рис. 4.3 Пример системы очистки сжатого воздуха

1 – воздухозабор; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – компрессор; 4 – охладитель; 5 – влагомаслоотделитель; 6 – ресивер; 7 – фильтр грубой очистки; 8 – осушитель (удаление паров воды); 9 – фильтр общей очистки (удаление микрочастиц пыли и компрессорного масла); 10 – фильтр тонкой очистки (на основе активированного угля, удаление запахов); 11 – устройства слива конденсата (влагоотделитель).

Воздух, предназначенный для работы, попадает в систему через воздухозаборник, затем проходит стадию грубой предварительной очистки и попадает в компрессор, где сжимается до нужного давления. После выхода из поршневого компрессора сжатый воздух попадает последовательно в охладитель, влагомаслоотделитель и в ресивер (сосуд, предназначенный для

хранения сжатого воздуха), а затем, через ряд фильтров и осушитель, – к потребителю.

Упомянувшейся ранее ГОСТ ИСО 8573-1-2005 [22], устанавливает следующие классы чистоты сжатого воздуха по твердым частицам (приведены в таблице 4.1).

Таблица 4.1

Класс	Предельно допустимое число частиц в 1 м ³				Размер частиц, мкм	Концентрация, мг/м ³
	Размер частиц <i>d</i> , мкм					
	≤ 0,10	0,10 < <i>d</i> ≤ 0,5	0,5 < <i>d</i> ≤ 1,0	1,0 < <i>d</i> ≤ 5,0		
0	В соответствии с требованиями пользователя или поставщика оборудования, но более жесткие, чем для класса 1				Не задается	Не задается
1	Не задается	100	1	0		
2	Не задается	100000	1000	10		
3	Не задается	Не задается	10000	500		
4	Не задается	Не задается	Не задается	1000		
5	Не задается	Не задается	Не задается	20000		
6	Не применяется				≤ 0,5	≤ 0,5
7	Не задается				≤ 40,0	≤ 40,0

Ниже в таблицах 4.2 и 4.3 приведены сведения о классах чистоты сжатого воздуха по содержанию воды в жидкой фазе и влажности. В таблице 4.4 представлены классы чистоты по содержанию масел. Из-за сложной природы загрязнений сжатого воздуха микроорганизмами, классификация этого типа примесей ограничивается отнесением воздуха к стерильной или нестерильной области применения.

Таблица 4.2

Класс	Концентрация воды в жидкой фазе C_w , г/м ³
7	≤ 0,5
8	0,5 < C_w ≤ 5,0
9	5,0 < C_w ≤ 10,0

Таблица 4.3

Класс	Температура точки росы, °С
0	В соответствии с требованиями пользователя или поставщика оборудования, но более жесткие, чем для класса 1
1	$\leq - 70$
2	$\leq - 40$
3	$\leq - 20$
4	$\leq + 3$
5	$\leq + 7$
6	$\leq + 10$

Таблица 4.4

Класс	Общая концентрация масел (в фазах аэрозолей, жидкости и паров), мг/м ³
0	В соответствии с требованиями пользователя или поставщика оборудования, но более жесткие, чем для класса 1
1	$\leq 0,01$
2	$\leq 0,10$
3	$\leq 1,00$
4	$\leq 5,00$

Применительно к подводной технике можно отметить, что, например, пневматические измерительные и регулирующие системы требуют использования воздуха, имеющего класс чистоты не ниже первого по содержанию масла и твердых частиц и не ниже четвертого по содержанию влаги, а воздух, предназначенный для дыхания (в системе жизнеобеспечения экипажей ПА) должен соответствовать первому классу чистоты по твердым частицам и маслу, а по содержанию влаги должен быть не ниже третьего класса.

Суммируя вышесказанное, следует еще раз подчеркнуть, что подготовка сжатого воздуха, особенно ВВД, является необходимостью. Так, например, воздух, всасываемый компрессором, может содержать до 180 миллионов частиц пыли на 1 м³, иметь влажность от 50 % до 80 %, и содержать от 0,01 до 0,03 мг/м³ масла. При сжатии воздуха концентрация примесей увеличивается пропорционально давлению сжатия. Воздух, сжатый до 1 МПа, содержит в 1 м³ около 2 миллиардов частиц пыли. Наличие загрязнений ведет к нарушению работы пневматических систем за счет оказания следующих отрицательных воздействий:

- физического (закупорка каналов, сопел и дроссельных элементов, смывание смазки, заклинивание подвижных элементов, абразивный износ, разрушение покрытий);

- химического (коррозия металлических деталей, разрушение резиновых уплотнений и красок);
- электролитического (разрушение контактирующих деталей, выполненных из разных материалов).

В целом, до 80 процентов отказов пневматических систем происходят по причинам, связанным с загрязненностью воздуха.

Следующей задачей, которую приходится решать при организации любых испытаний (это касается не только подводной, но и любой другой техники), является их метрологическое обеспечение.

В соответствии с ГОСТ Р 51672-2000 [24] метрологическое обеспечение испытаний – это установление и применение научных и организационных основ, технических средств, метрологических правил и норм, необходимых для получения достоверной измерительной информации о значениях показателей качества и безопасности продукции и услуг, а также о значениях характеристик воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях, других условий испытаний.

Основной целью метрологического обеспечения испытаний является получение достоверной измерительной информации о значениях показателей качества и безопасности продукции.

К основным задачам метрологического обеспечения испытаний относят [24]:

- создание необходимых условий для получения достоверной информации о значениях показателей качества и безопасности продукции при испытаниях;
- разработку методик испытаний, обеспечивающих получение результатов испытаний с погрешностью и воспроизводимостью, не выходящих за пределы установленных норм;
- разработку программ испытаний, обеспечивающих получение достоверной информации о значениях показателей качества и безопасности продукции и их соответствие установленным требованиям;
- проведение метрологической экспертизы программ и методик испытаний;
- обеспечение поверки средств измерений, используемых в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, и применяемых для контроля параметров испытываемой продукции, характеристик условий испытаний, условий и параметров безопасности труда и состояния окружающей среды;
- обеспечение аттестации испытательного оборудования в соответствии с ГОСТ Р 8.568-97 «Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения» [9];
- обеспечение калибровки средств измерений, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору;

- обеспечение аттестации методик выполнения измерений в соответствии с ГОСТ Р 8.563-96 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений» [11] и методик испытаний;

- подготовку персонала испытательных подразделений к выполнению измерений и испытаний, техническому обслуживанию и аттестации испытательного оборудования.

В рамках метрологического обеспечения испытаний существенное значение имеют следующие понятия, которые будут использоваться в дальнейшем:

- *погрешность результата испытаний* – это разность между результатом испытаний характеристики объекта при фактических условиях испытаний и истинным (действительным) значением характеристики объекта при условиях испытаний, установленных в нормативном документе на методы испытаний объекта;

- *воспроизводимость результатов испытаний* – это характеристика результатов испытаний, определяемая близостью результатов испытаний одного и того же объекта по единым методикам в соответствии с требованиями одного и того же нормативного документа с применением различных экземпляров оборудования разными операторами в разное время в разных лабораториях. (Воспроизводимость результатов испытаний зависит не только от точности измерений, но и от однородности и стабильности характеристик испытываемого объекта, непостоянства характеристик объекта между испытаниями, в том числе от разброса характеристик образцов (проб), отобранных для испытаний);

- *норматив (предел) воспроизводимости* – это предельно допускаемое абсолютное расхождение между двумя результатами испытаний, полученными в условиях воспроизводимости для доверительной вероятности 0,95;

- *повторяемость (сходимость) результатов испытаний* – это характеристика результатов испытаний, определяемая близостью результатов испытаний одного и того же объекта по одной и той же методике в соответствии с требованиями одного и того же нормативного документа в одной и той же лаборатории одним и тем же оператором с использованием одного и того же экземпляра оборудования в течение короткого промежутка времени;

- *норматив (предел) повторяемости (сходимости)* – это предельно допускаемое абсолютное расхождение между двумя результатами испытаний, полученными в условиях повторяемости (сходимости) для доверительной вероятности 0,95.

К метрологическому обеспечению испытаний предъявляются следующие основные требования [24].

1. Типы средств измерений, применяемых при проведении испытаний для целей обязательной сертификации, должны быть утверждены Госстандартом России.

2. Экземпляры средств измерений, используемые при проведении испытаний для целей обязательной сертификации, в том числе при контроле характеристик испытываемой продукции, характеристик условий испытаний, контроле параметров опасных и вредных производственных факторов и состояния окружающей среды и при подтверждении соответствия принятием декларации о соответствии, должны быть поверены.

Экземпляры средств измерений, используемые при проведении испытаний для целей добровольной сертификации, в сферах, на которые не распространяются государственный метрологический контроль и надзор, сертифицируют и калибруют.

3. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов, используемые при проведении испытаний для целей обязательной сертификации, должны быть утвержденных типов в соответствии с ГОСТ 8.315-97 [12].

4. Испытательное оборудование должно быть аттестовано в соответствии с ГОСТ Р 8.568 с учетом требований нормативных документов на методы испытаний.

5. Технологическое, лабораторное, вспомогательное и т.п. оборудование, не относящееся к испытательному, должны подвергаться периодической проверке технического состояния в соответствии с указаниями, содержащимися в инструкциях по эксплуатации этого оборудования или в паспортах на них.

6. Методики выполнения измерений, применяемые при испытаниях для целей подтверждения соответствия, должны быть аттестованы или стандартизованы в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563.

7. Результаты измерений при испытаниях должны быть выражены в единицах величин, допущенных к применению в Российской Федерации (ГОСТ 8.417-2002 [10]). Допускается, что характеристики и параметры продукции, поставляемой на экспорт, в том числе средств измерений, могут быть выражены в единицах, установленных заказчиком, или в условных единицах, установленных в стандартах и других нормативных документах для определенных групп однородной продукции. При этом результаты испытаний выражают в соответствующих единицах.

8. Методики испытаний должны разрабатываться на основе положений нормативных документов Государственной системы обеспечения единства измерений и нормативных документов на продукцию и методы ее испытаний, при этом должны быть выполнены следующие требования:

- установлены нормы показателей точности и воспроизводимости результатов испытаний (в том числе межлабораторной воспроизводимости);
- предусмотрены процедуры оценивания характеристик погрешности и воспроизводимости результатов испытаний;

- при оценивании погрешности результатов испытаний учтены погрешность измерений параметров продукции и влияние на эти параметры отклонений фактических условий испытаний от условий испытаний, установленных в нормативном документе на методы испытаний продукции;

- проведены измерения для контроля условий безопасности труда и состояния окружающей среды.

9. Методика испытаний может включать в себя в качестве составной части методику (методики) выполнения измерений, аттестованную (аттестованные) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563 или содержать ссылки на методики выполнения измерений, регламентированные в государственных стандартах.

Методики испытаний, применяемые для целей подтверждения соответствия, должны соответствовать требованиям Правил подтверждения соответствия продукции конкретных видов.

10. Документы, в которых регламентированы методики испытаний, должны содержать:

- перечень параметров продукции, подвергаемой испытаниям, и характеристик условий испытаний с указанием номинальных значений и диапазонов изменений;

- значения характеристик погрешности результатов измерений и испытаний параметров продукции и характеристик условий испытаний, приписанные данной методике;

- нормативы и процедуры оценивания воспроизводимости результатов испытаний (или ссылки на нормативный документ, регламентирующий эти процедуры для всех видов испытаний однородного вида продукции);

- методики выполнения измерений параметров продукции и характеристик условий испытаний, если они включены в качестве составной части в методику испытаний;

- требования к эталонам, средствам измерений, испытательному и вспомогательному оборудованию (либо указание их типов и характеристик), материалам и реактивам;

- операции подготовки, проведения испытаний, включая порядок отбора, подготовки и хранения образцов (проб) для испытаний, алгоритмы обработки данных испытаний и вычислений результатов измерений при испытаниях;

- требования к оформлению результатов испытаний;

- требования к квалификации персонала, проводящего испытания;

- требования к обеспечению безопасности выполняемых работ;

- требования к обеспечению экологической безопасности.

11. Проекты нормативных документов, регламентирующих методики испытаний продукции, должны подвергаться метрологической экспертизе в порядке, установленном на предприятиях и в организациях, проводящих испытания продукции.

12. Документ, регламентирующий программу испытаний, должен содержать:

- перечень параметров продукции, подвергаемой испытаниям, и характеристик условий испытаний с указанием номинальных значений и диапазонов изменений;

- перечень документов, на соответствие требованиям которых проводятся испытания;

- перечень документов, регламентирующих методики испытаний, последовательность и объем проводимых экспериментов;

- порядок, условия, место и сроки проведения испытаний;

- требования к характеристикам погрешности и воспроизводимости результатов измерений и испытаний;

- перечень эталонов, средств измерений, испытательного и вспомогательного оборудования с указанием их типов и характеристик, материалов и реактивов;

- методику и порядок отбора, подготовки и хранения образцов (проб) для испытаний или ссылки на государственные стандарты, регламентирующие методику и порядок отбора, подготовки и хранения образцов (проб) для испытаний;

- алгоритмы обработки данных испытаний и вычислений результатов измерений при испытаниях;

- требования к оформлению результатов испытаний.

13. Результаты испытаний должны быть зафиксированы в протоколе, в котором, в числе прочих сведений, должны быть указаны:

- наименование объекта испытаний, контролируемые при испытаниях характеристики свойств и параметров объекта;

- наименование и обозначение документа, регламентирующего методику испытаний;

- характеристики условий испытаний и внешних воздействующих факторов;

- результаты измерений (испытаний) характеристик свойств и/или параметров объекта, характеристики погрешности полученных результатов, а также воспроизводимость результатов испытаний (если испытания объекта проводились и в условиях воспроизводимости);

- наименования, типы или основные характеристики эталонов и средств измерений, использованных при испытаниях;

- реквизиты испытательного подразделения.

14. В соответствии с задачами метрологического обеспечения испытаний метрологические службы юридических лиц или иные организационные структуры по обеспечению единства измерений должны выполнять следующие функции:

- организацию и проведение совместно со специалистами других технических служб предприятия систематического анализа состояния

измерений, контроля и испытаний в испытательных подразделениях, а также оценки состояния измерений в испытательных лабораториях;

- подготовку мероприятий по совершенствованию метрологического обеспечения испытаний для целей оценки соответствия и иных испытаний, участие в их реализации и контроль всего комплекса мер по их своевременной реализации;

- своевременное введение нормативных документов (государственных стандартов, правил по метрологии, рекомендаций по метрологии) Государственной системы обеспечения единства измерений;

- участие в подготовке к аккредитации испытательных подразделений;
- участие в подготовке к сертификации систем качества и производств;
- выполнение работ по аттестации методик выполнения измерений (при наличии аккредитации на право аттестации методик выполнения измерений) и участие в работах по унификации и стандартизации методик выполнения измерений;

- участие в аттестации испытательного оборудования, разработке программ и методик аттестации испытательного оборудования;

- проведение метрологической экспертизы программ и методик испытаний;

- проведение метрологической экспертизы технических заданий, конструкторской и технологической документации, проектов нормативных документов, регламентирующих требования к испытаниям;

- своевременное представление применяемых в испытательных подразделениях средств измерений на поверку, организацию работ по калибровке средств измерений в соответствии с действующими нормативными документами;

- выполнение особо точных измерений для целей метрологического обеспечения испытаний (по заказам испытательных подразделений);

- разработку и внедрение документов, регламентирующих вопросы метрологического обеспечения испытаний на предприятии (в организации), участие совместно со специалистами других технических служб в работах по актуализации нормативной базы по метрологическому обеспечению испытаний;

- метрологический надзор за состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами, применяемыми для калибровки средств измерений, за соблюдением метрологических правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений при осуществлении испытаний.

Ранее было отмечено, что одной из основных задач метрологического обеспечения испытаний является аттестация испытательного оборудования. Согласно ГОСТ Р 8.568-97 [9], основная цель аттестации испытательного оборудования – это подтверждение возможности воспроизведения условий испытаний в пределах допустимых отклонений и установление пригодности

использования испытательного оборудования в соответствии с его назначением.

Аттестация оборудования может быть первичной, периодической или повторной.

Первичной аттестации испытательное оборудование подвергают при вводе его в эксплуатацию в данном испытательном подразделении.

Периодическая аттестация испытательного оборудования – это аттестация, которой подвергают испытательное оборудование в процессе эксплуатации через определенные интервалы времени, которые установлены в эксплуатационной документации на испытательное оборудование или при первичной аттестации. Интервалы времени периодической аттестации могут быть установлены по результатам контроля состояния испытательного оборудования в процессе его эксплуатации, при этом для различных частей испытательного оборудования эти интервалы могут быть различны.

Испытательное оборудование подвергается повторной аттестации в случае его ремонта или модернизации, проведения работ с фундаментом, на котором оно установлено, перемещения стационарного испытательного оборудования или других причин, которые могут вызвать изменения характеристик воспроизведения условий испытаний.

К аттестации испытательного оборудования, в независимости от ее вида, предъявляют ряд требований, приведенных ниже.

1. Для аттестации испытательного оборудования, используемого при обязательной сертификации продукции, при испытаниях продукции на соответствие обязательным требованиям государственных стандартов и при производстве продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд, в том числе для нужд сферы обороны и безопасности, должны применяться средства измерений утвержденных типов, экземпляры средств измерений должны быть проверены, методики выполнения измерений должны быть аттестованы в соответствии с ГОСТ Р 8.563. При аттестации испытательного оборудования для испытаний продукции, используемой в других сферах, должны применяться поверенные или калиброванные средства измерений.

2. Испытания, поверку и калибровку средств измерений, используемых в качестве средств испытаний или в составе испытательного оборудования, осуществляют в соответствии с нормативными документами государственной системы обеспечения единства измерений. Типы средств измерений, встраиваемых в испытательное оборудование, применяемое для испытаний продукции, поставляемой для нужд сферы обороны и безопасности, должны быть утверждены в установленном для данной сферы порядке. Встраиваемые в испытательное оборудование средства измерений должны быть утвержденных типов, пройти первичную поверку и подлежать периодической поверке в процессе эксплуатации испытательного оборудования, если имеется возможность их изъятия для проведения поверки. Если конструктивное исполнение испытательного оборудования не

позволяет изъять встроенное средство измерений для проведения его периодической поверки, то разработчиком оборудования должна быть предусмотрена возможность его поверки в процессе эксплуатации без демонтажа, например, с использованием переносных средств поверки.

3. Транспортируемое в процессе использования испытательное оборудование подлежит первичной аттестации только при вводе его в эксплуатацию.

Рассмотрим более подробно различные виды аттестации испытательного оборудования.

1. Первичная аттестация испытательного оборудования заключается в экспертизе эксплуатационной и проектной документации (при наличии последней), на основании которой выполнена установка испытательного оборудования, экспериментальном определении его технических характеристик и подтверждении пригодности использования испытательного оборудования.

Первичную аттестацию испытательного оборудования проводят в соответствии с действующими нормативными документами на методики аттестации определенного вида испытательного оборудования или по программам и методикам аттестации конкретного оборудования. Программы и методики аттестации испытательного оборудования, применяемого при испытаниях продукции, поставляемой для нужд сферы обороны и безопасности, должны пройти метрологическую экспертизу в установленном для данной сферы порядке.

Объектами первичной аттестации является конкретное испытательное оборудование с нормированными техническими характеристиками воспроизведений условий испытаний и при наличии информационное обеспечение (например, компьютерное, программное обеспечение или обеспечение алгоритмами функционирования).

Технические характеристики испытательного оборудования, подлежащие определению или контролю при первичной аттестации, выбирают из числа нормированных технических характеристик, установленных в технической документации и определяющих возможность воспроизведения условий испытаний в заданных диапазонах с допускаемыми отклонениями в течение установленного интервала времени.

Первичная аттестация испытательного оборудования проводится комиссией, назначаемой руководителем предприятия или организации по согласованию с государственным научным метрологическим центром или органом государственной метрологической службы, если их представители должны участвовать в работе комиссии. В состав комиссии входят представители:

- подразделения предприятия или организации, проводящего испытания на данном испытательном оборудовании;
- метрологической службы предприятия или организации, подразделение которого проводит испытания продукции;

- государственных научных метрологических центров или органов государственной метрологической службы при использовании испытательного оборудования для испытаний продукции с целью ее обязательной сертификации или испытаний на соответствие обязательным требованиям государственных стандартов или при производстве продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд;

- заказчика на предприятии в случае использования испытательного оборудования для испытаний продукции, поставляемой по контрактам для нужд сферы обороны и безопасности.

Первичную аттестацию испытательного оборудования (за исключением испытательного оборудования, применяемого для испытаний продукции, поставляемой для нужд сферы обороны и безопасности) могут проводить на договорной основе аккредитованные в соответствии с порядком ПР 50.2.008 [53] головные и базовые организации метрологической службы согласно области их аккредитации. Первичную аттестацию испытательного оборудования, применяемого для испытаний продукции, поставляемой для нужд сферы обороны и безопасности, могут проводить на договорной основе организации, аккредитованные в соответствии с порядком МИ 2647-2001 [44].

Испытательное оборудование должно представляться испытательными подразделениями на первичную аттестацию вместе с технической документацией и техническими средствами, необходимыми для его нормального функционирования и для проведения первичной аттестации. При этом в состав представляемой технической документации должны входить:

- эксплуатационные документы по ГОСТ 2.601 [14], включая формуляр при его наличии (для импортного оборудования должны быть представлены эксплуатационные документы фирмы-изготовителя, переведенные на русский язык);

- программа и методика первичной аттестации испытательного оборудования;

- методика периодической аттестации испытательного оборудования в процессе эксплуатации, если она не изложена в эксплуатационных документах.

Программа и методика первичной аттестации испытательного оборудования могут быть разработаны подразделением, проводящим испытания. При этом методика первичной аттестации испытательного оборудования не имеет ограничения по сроку действия, и если она удовлетворяет требованиям, предъявляемым к аттестуемому испытательному оборудованию по точности и воспроизводимости, она может применяться испытательным подразделением в дальнейшем для аттестации однотипного испытательного оборудования аналогичного назначения независимо от сроков его введения в эксплуатацию.

В процессе первичной аттестации должны быть установлены:

- возможность воспроизведения внешних воздействующих факторов и режимов функционирования объекта испытаний, установленных в документах на методики испытаний продукции конкретных видов;
- отклонения характеристик условий испытаний от нормированных значений;
- обеспечение безопасности персонала и отсутствие вредного воздействия на окружающую среду;
- перечень характеристик испытательного оборудования, которые подлежат проверке при периодической аттестации оборудования, а также методы, средства и периодичность ее проведения.

Результаты первичной аттестации должны оформляться протоколом, содержание которого приведено в Приложении 5. Протокол первичной аттестации испытательного оборудования должен быть подписан председателем и членами комиссии, проводившими первичную аттестацию.

При положительных результатах первичной аттестации на основании протокола первичной аттестации оформляется аттестат по форме, определенной ГОСТ Р 8.568-97. Аттестат подписывает руководитель предприятия или организации где проводилась первичная аттестация испытательного оборудования.

При отрицательных результатах первичной аттестации сведения о них также указывают в протоколе.

Сведения о выданном аттестате (его номер и дата выдачи), полученные в процессе аттестации значения характеристик испытательного оборудования, а также срок его последующей периодической аттестации и периодичность ее проведения в процессе эксплуатации должны быть занесены в формуляр или специально заведенный журнал.

2. Периодическая аттестация испытательного оборудования в процессе его эксплуатации проводится в объеме, необходимом для подтверждения соответствия характеристик испытательного оборудования требованиям нормативных документов на методики испытаний и эксплуатационных документов на оборудование и пригодности его к дальнейшему использованию.

Номенклатуру проверяемых характеристик испытательного оборудования и объем операций при его периодической аттестации устанавливают при первичной аттестации оборудования, исходя из нормированных технических характеристик оборудования и тех характеристик конкретной продукции, которые определяют при испытаниях.

Периодическая аттестация проводится сотрудниками подразделения, в котором установлено оборудование, уполномоченными руководителем подразделения для выполнения этой работы, и представителями метрологической службы предприятия.

Результаты периодической аттестации испытательного оборудования оформляются протоколом, содержание которого приведено в Приложении 6.

Протокол с результатами периодической аттестации подписывают лица, ее проводившие. Утверждает протокол руководитель предприятия (организации).

При положительных результатах периодической аттестации в паспорте (формуляре) испытательного оборудования делают соответствующую отметку, а на само оборудование прикрепляют бирку с указанием даты проведенной аттестации и срока последующей периодической аттестации.

При отрицательных результатах периодической аттестации в протоколе должны быть прописаны мероприятия, необходимые для доведения технических характеристик испытательного оборудования до требуемых значений.

3. Повторная аттестация испытательного оборудования осуществляется после ремонта или модернизации в порядке, установленном для первичной аттестации испытательного оборудования.

Повторную аттестацию после проведения работ с фундаментом, на котором установлено испытательное оборудование, или перемещения стационарного испытательного оборудования, или вызванную другими причинами, которые могут вызвать изменения характеристик воспроизведения условий испытаний, осуществляют в порядке, установленном для периодической аттестации.

Итак, мы рассмотрели, каким образом решается задача аттестации испытательного оборудования, относящаяся к основным задачам метрологического обеспечения испытаний. Следующей важной задачей, отмеченной ранее, является обеспечение аттестации методик выполнения измерений. Эта задача решается в соответствии с ГОСТ Р 8.563-96 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений» [11].

В указанном ГОСТе используются следующие определения:

Методика выполнения измерений (МВИ) – совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленной погрешностью (неопределенностью).

Аттестация МВИ – процедура установления и подтверждения соответствия МВИ предъявляемым к ней метрологическим требованиям.

Метрологическая экспертиза МВИ – анализ и оценка выбора методов и средств измерений, операций и правил проведения измерений и обработки их результатов с целью установления соответствия МВИ предъявляемым метрологическим требованиям.

Точность – степень близости результата измерений к принятому опорному значению.

Принятое опорное значение – значение, которое служит в качестве согласованного для сравнения и получено как:

а) теоретическое или установленное значение, базирующееся на научных принципах;

б) приписанное или аттестованное значение, базирующееся на экспериментальных работах какой-либо национальной или международной организации;

в) согласованное или аттестованное значение, базирующееся на совместных экспериментальных работах под руководством научной или инженерной группы;

г) математическое ожидание (общее среднее значение) заданной совокупности результатов измерений в условиях отсутствия необходимых эталонов, обеспечивающих воспроизведение, хранение и передачу соответствующих значений измеряемых величин (истинных или действительных значений измеряемых величин, выраженных в узаконенных единицах).

Систематическая погрешность – разность между математическим ожиданием результатов измерений и истинным (или в его отсутствие – принятым опорным) значением.

Неопределенность измерений – параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые можно приписать измеряемой величине.

Целью разработки и применения методик выполнения измерений является обеспечение выполнения измерений с погрешностью, не превышающей нормы погрешности или приписанной характеристики погрешности (неопределенности).

В зависимости от сложности и области применения методика выполнения измерений может быть изложена в отдельном документе (стандарте, инструкции, рекомендации и т.п.) или разделе (части) документа (разделе стандарта, технических условий, конструкторского или технологического документа и т.п.).

Методики выполнения измерений, аттестованные и регламентированные документами (в том числе государственными стандартами), применяемые в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, подлежат регистрации в Федеральном реестре методик выполнения измерений, применяемых в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, являющемся частью информационных ресурсов Федерального фонда государственных стандартов, общероссийских классификаторов технико-экономической информации, международных (региональных) стандартов, правил, норм и рекомендаций по стандартизации, национальных стандартов зарубежных стран.

Перед рассмотрением процесса аттестации МВИ, обратим внимание на ее разработку.

Разработка МВИ осуществляется на основе исходных данных, которые должны включать назначение МВИ, требования к точности измерений, условия выполнения измерений (номинальные значения влияющих факторов и допустимые отклонения от них, например, температуры окружающей

среды, влажности воздуха и т. д.) и другие требования к МВИ. Исходные данные излагают в техническом задании, технических условиях, отчетах о научно-исследовательской работе и других документах.

В назначении МВИ указывают следующие данные:

- область применения (объект измерений, в том числе наименования продукции и контролируемых параметров, а также область использования – для одного предприятия, для отрасли, для сети отраслевых или межотраслевых лабораторий и т.п.);

- наименование (при необходимости развернутое определение) измеряемой величины; при измерении величин, не установленных ГОСТ 8.417-2002 [10], в назначении МВИ указывают развернутые определения этих величин либо ссылки на нормативные документы, содержащие такие определения. Определение измеряемой величины должно разъяснять ее связь с другими величинами и способ образования когерентных производных единиц Международной системы единиц СИ;

- характеристики измеряемой величины (диапазон и частотный спектр, значения неинформативных параметров и т.п.);

- характеристики объекта измерений, если они могут влиять на погрешность измерений (выходное сопротивление, жесткость в месте контакта с датчиком, состав пробы и т.п.).

В документе, регламентирующем МВИ, требования к погрешности (неопределенности) измерений и (или) характеристикам составляющих погрешности измерений, могут быть указаны путем ссылки на документ, в котором эти требования установлены.

Требования к погрешности измерений устанавливаются с учетом всех ее составляющих (методической, инструментальной, вносимой оператором, возникающей при отборе и приготовлении пробы). Типичные составляющие погрешности измерений приведены в Приложении 7. Если требования к погрешности измерений в явном виде не определены, то исходные требования должны содержать указания, позволяющие рационально выбрать методы и средства измерений и руководствоваться ими при аттестации МВИ (Как правило, при наличии заданного допуска на контролируемый параметр для установления норм погрешности используют отношение границы погрешности измерений по МВИ к допуску на контролируемый параметр).

Условия измерений задают в виде номинальных значений и (или) границ диапазонов возможных значений влияющих величин. При необходимости указывают предельные скорости изменений или другие характеристики влияющих величин, а также ограничения на продолжительность измерений, число параллельных определений и т.п. данные.

Если при установлении исходных требований заранее известно, что измерения будут выполняться посредством измерительных систем, средства измерений которых находятся в разных местах, то условия измерений

указывают для мест расположения всех средств измерений, входящих в измерительную систему.

В общем случае, процесс разработки МВИ включает в себя следующие этапы:

- формулирование измерительной задачи и описание измеряемой величины;
- предварительный отбор возможных методов решения измерительной задачи;
- выбор метода и средств измерений (в том числе стандартных образцов, аттестованных смесей), вспомогательных и других технических средств;
- установление последовательности и содержания операций при подготовке и выполнении измерений, обработке промежуточных результатов и вычислений окончательных результатов измерений;
- организацию и проведение эксперимента (метрологических исследований) по оценке показателей точности разработанной МВИ с целью установления приписанных характеристик погрешности (неопределенности) измерений, характеристик составляющих погрешности, а также экспериментальную апробацию установленного алгоритма выполнения измерений;
- установление приписанной характеристики погрешности (неопределенности) измерений, характеристик составляющих погрешности с учетом требований, содержащихся в исходных данных на разработку МВИ;
- разработку процедур и установление нормативов контроля точности получаемых результатов измерений с учетом требований раздела 6 ГОСТ Р ИСО 5725-6 [34];
- разработку проекта документа (раздела, части проекта документа) на МВИ, в том числе проекта стандарта, если это предусмотрено в техническом задании на разработку МВИ;
- метрологическую экспертизу проекта документа на МВИ;
- аттестацию МВИ;
- утверждение проекта документа на МВИ в установленном порядке.

Методы и средства измерений выбирают в соответствии с действующими документами по выбору методов и средств измерений данного вида, а при отсутствии таких документов – в соответствии с рекомендациями МИ 1967-89 [42].

Способы выражения приписанных характеристик погрешности (неопределенности) измерений должны соответствовать исходным данным на разработку МВИ.

В документах (разделах, частях документов), регламентирующих МВИ, в общем случае должны быть указаны следующие сведения:

- назначение МВИ;
- условия выполнения измерений;
- метод (методы) измерений;

- нормы погрешности (неопределенности) измерений и (или) приписанные характеристики погрешности (неопределенности) измерений;
- требования к средствам измерений (в т.ч. к стандартным образцам, аттестованным смесям), вспомогательным устройствам, материалам, растворам или указывают типы средств измерений, их характеристики и обозначения документов, где приведены требования к средствам измерений (ГОСТ, ТУ и другие документы);
- операции при подготовке к выполнению измерений;
- операции при выполнении измерений;
- операции обработки и вычислений результатов измерений;
- процедуры и периодичность контроля точности получаемых результатов измерений с учетом требований раздела 6 ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 [34];
- требования к оформлению результатов измерений;
- требования к квалификации операторов;
- требования к обеспечению безопасности выполняемых работ;
- требования к обеспечению экологической безопасности;
- другие требования и операции (при необходимости).

В документах на МВИ, в которых предусмотрено использование конкретных экземпляров средств измерений и других технических средств, должны быть указаны заводские (инвентарные и т.п.) номера экземпляров средств измерений и других технических средств. Допускается, что вместо приведения перечисленных выше сведений о МВИ в документе (разделах документов) могут быть даны ссылки на другие документы, в которых эти сведения указаны.

Документы на МВИ, не используемые в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, подвергаются метрологической экспертизе в порядке, установленном в отрасли или на предприятии. Документы на МВИ, применяемые в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, подвергаются метрологической экспертизе в государственных научных метрологических центрах (ГНМЦ) или в организациях, метрологические службы которых аккредитованы на право проведения аттестации МВИ и метрологической экспертизы документов на МВИ, применяемых в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора (в соответствии с областью аккредитации).

Документы на МВИ, предназначенные для применения в сфере обороны и безопасности подлежат метрологической экспертизе в 32 Государственном научно-исследовательском испытательном институте (32 ГНИИИ) Минобороны России.

Метрологическую экспертизу документов на МВИ не проводят, если аттестация МВИ выполнена одним из государственных научных метрологических центров или 32 ГНИИИ Минобороны России.

Рассмотрим процесс аттестации МВИ.

Аттестации подлежат МВИ, используемые в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора. МВИ, используемые вне сферы распространения государственного метрологического контроля и надзора, аттестуют в порядке, установленном в ведомстве или на предприятии.

Основная цель аттестации МВИ – подтверждение возможности выполнения измерений в соответствии с процедурой, регламентированной в документе на МВИ, с характеристиками погрешности (неопределенностью) измерений, не превышающими указанных в документе на МВИ.

Аттестацию МВИ осуществляют метрологические службы и иные организационные структуры по обеспечению единства измерений предприятий или организаций, разрабатывающих или применяющих МВИ.

Метрологическая служба (организационная структура) предприятия или организации, осуществляющая аттестацию МВИ, применяемую в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора, должна быть аккредитована на право выполнения аттестации МВИ в соответствии с правилами ПР 50.2.013-97 [52].

Аттестацию МВИ могут осуществлять метрологические службы других предприятий или организаций, аккредитованные на право проведения аттестации МВИ в соответствии с вышеуказанными правилами, а также государственные научные метрологические центры, органы Государственной метрологической службы и 32 ГНИИИ Минобороны России.

Аттестация МВИ осуществляется на основе результатов метрологической экспертизы материалов разработки МВИ, включающих материалы теоретического и (или) экспериментального исследования МВИ, и документа (раздела, части документа), регламентирующего МВИ.

На аттестацию МВИ должны представляться следующие документы:

- исходные требования на разработку МВИ;
- документ (проект документа), регламентирующий МВИ;
- программу и результаты экспериментального или расчетного оценивания характеристик погрешности МВИ.

При проведении метрологической экспертизы материалов теоретического и (или) экспериментального исследования МВИ и способов экспериментальной оценки характеристик погрешности и (или) характеристик составляющих погрешности методик подвергают анализу соответствие способов представления характеристик погрешности требованиям МИ 1317-86 [46], соответствие способов представления неопределенности требованиям МИ 2552-99 [45], а для МВИ состава и свойств веществ и материалов – их соответствие также основным положениям ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 – ГОСТ Р ИСО 5725-4-2002 [30 – 33]; в части предложенных процедур контроля точности получаемых результатов измерений анализируется и отмечается в экспертном заключении использование процедур по ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 [34].

При экспериментальном исследовании МВИ погрешность алгоритма преобразования результатов наблюдений в значения измеряемой величины может быть определена в соответствии с рекомендацией МИ 2174-91 [41].

При положительных результатах аттестации производятся следующие действия:

- документ, регламентирующий МВИ, утверждают в установленном порядке;

- в документе, регламентирующем МВИ (кроме государственного стандарта), указывается «МВИ аттестована» с обозначением предприятия или организации, метрологическая служба которого осуществляла аттестацию, либо государственного научного метрологического центра или органа Государственной метрологической службы, выполнившего аттестацию МВИ;

- для МВИ, применяемой в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора, а также для контроля состояния сложных технических систем в соответствии с ГОСТ Р 22.2.04-94 [8] (кроме МВИ, регламентированных в государственных стандартах), оформляют свидетельство об аттестации МВИ в соответствии с ГОСТ Р 8.563-96 [11]; для других МВИ свидетельство об аттестации оформляют по требованию заказчика.

- МВИ, применяемые в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, подлежат регистрации в Федеральном реестре методик выполнения измерений, применяемых в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, являющемся частью информационных ресурсов Федерального фонда государственных стандартов, общероссийских классификаторов технико-экономической информации, международных (региональных) стандартов, правил, норм и рекомендаций по стандартизации, национальных стандартов зарубежных стран.

Порядок регистрации свидетельств об аттестации МВИ устанавливается организациями или предприятиями, осуществляющими аттестацию МВИ.

Свидетельство об аттестации МВИ, на котором отсутствует регистрационный номер и дата выдачи, признается надзорными органами недействительным.

Для того, чтобы завершить рассмотрение процесса аттестации МВИ, рассмотрим, каким образом осуществляется метрологический надзор за аттестованными МВИ.

Аттестованные МВИ, применяемые в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора, подлежат государственному метрологическому надзору в соответствии с требованиями ПР 50.2.002-94 [54]. Метрологический надзор за аттестованными МВИ осуществляют метрологические службы юридических лиц, применяющих МВИ, в соответствии с рекомендациями МИ 2304-94 [43].

При осуществлении государственного метрологического надзора, выполняемого органами Государственной метрологической службы, либо метрологического надзора, выполняемого метрологическими службами юридических лиц, проверяют:

- наличие документа, регламентирующего МВИ, с отметкой или свидетельством об аттестации;

- наличие регистрационного кода МВИ по Федеральному реестру методик выполнения измерений, применяемых в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, на документе, регламентирующем МВИ, применяемую в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора;

- соответствие применяемых средств измерений и других технических средств, условий измерений, порядка подготовки и выполнения измерений, обработки и оформления результатов измерений указанным в документе, регламентирующем МВИ;

- соблюдение требований к процедуре контроля погрешности результатов измерений по МВИ, если такая процедура регламентирована;

- соответствие квалификации операторов, выполняющих измерения, регламентированной в документе МВИ;

- соблюдение требований по обеспечению безопасности труда и экологической безопасности при выполнении измерений.

Как можно видеть из приведенной выше информации, метрологическое обеспечение испытаний – это огромный пласт работы в рамках их подготовки, требующий высокой квалификации исполнителей и весьма протяженный во времени. Поэтому вопросы метрологического обеспечения должны постоянно находиться в зоне повышенного внимания исследователей, планирующих и проводящих испытания любой техники, а в особенности такой ответственной, как подводная.

Глава 5. Испытания узлов, устройств и систем подводных объектов и технических жидкостей, применяемых в подводном аппаратостроении

5.1. Испытания узлов, устройств и систем подводных объектов на прочность и герметичность

В главе 3 было отмечено, что основным фактором, влияющим на подводную технику, является внешнее гидростатическое давление, повышающееся с глубиной погружения. Это накладывает на подводные объекты требования по способности противостоять внешним силам, т.е. иметь достаточную прочность. Кроме этого, к ряду элементов подводных технических средств предъявляются требования по герметичности – например, к уплотнительным узлам. К последним в первую очередь могут быть отнесены те узлы, от герметичности которых зависит герметичность подводного технического средства в целом. Такими узлами могут быть электрические разъемы, предназначенные для прохода через прочный корпус различных электрических кабелей, дейдвудные устройства, создаваемые для герметизации проходящих через корпус валов и другие.

В качестве примера серийно изготавливаемых отечественных электрических разъемов могут быть представлены сведения о соединителях, выпускаемых открытым акционерным обществом «Северное производственное объединение «Арктика» [58].

Соединитель СМ311-10-09/5-Н

Соединитель электрический быстроразъемный по ТУ5.688-5200-86, предназначен для соединения лежащих кабелей в резиновой оболочке в силовых цепях, а также в цепях управления и связи в условиях воздействия морской воды, гелиокислородной или азотногелиокислородной среды.

Технические характеристики:

1. Номинальное напряжение:
 - для силовых контактных пар с допустимой величиной тока до 25 А – 50 В;
 - для контактных пар цепей управления и связи с допустимой величиной тока до 12 А – 26 В.
2. Род тока:
 - постоянный;
 - переменный с частотой 50 Гц.
3. Диаметр присоединяемых кабелей 12 ÷ 20 мм.
4. Габаритные размеры:
 - диаметр 78 мм;
 - высота 230 мм.
5. Масса 1,85 кг.
6. Материал корпуса – титановый сплав.
7. Рабочий интервал температур: от – 45°С до +45°С.

8. Условия эксплуатации: гидростатическое давление до 50 кгс/см².



Рис. 5.1 Внешний вид соединителя SM311-10-09/5-H

Разъем РГ7-40

Разъем герметичный 7-контактный по ТУ5.688-5208-88, предназначен для соединения кабеля, проходящего через корпус, или вне корпуса.

Технические характеристики:

1. Номинальное напряжение: 250 В.
2. Род тока:
 - постоянный;
 - переменный с частотой 50 Гц.
3. Максимальный ток на одну контактную пару: 15 А.
4. Материал корпуса: легированная сталь.
5. Установка на фланце.
6. Габаритные размеры: 100 х 260 х 100 мм.
7. Масса: 4,336 кг.
8. Условия эксплуатации:
 - температура окружающего воздуха: от -40°С до +60°С;
 - гидростатическое давление до 40 кгс/см².



Рис. 5.2 Внешний вид разъема РГ7-40

Разъемы РВДК

Разъемы высокого давления для комингс-площадок одно-, трех- и 37-контактные по ТУ5-87 Пд0.364.000ТУ. Предназначены для соединения электрических цепей постоянного и переменного тока.

Технические характеристики:

1. Номинальное напряжение:
 - РВДК-1 – 330 В;
 - РВДК-3, РВДК-37 – 400 В.
2. Номинальный ток:
 - РВДК-1 – 250 А;
 - РВДК-3 – 100 А;
 - РВДК-37 – 5 А.
3. Частота переменного тока: 400 Гц.
4. Материал корпуса:
 - сталь;
 - титановый сплав.
5. Габаритные размеры: вилка – 170 x 215 x 145 мм, розетка – диаметр 160 мм, длина 270 мм.
6. Масса: 8 ÷ 24 кг.
7. Условия эксплуатации:
 - температура окружающего воздуха – от -40°C до +50°C;
 - температура морской воды – от -2°C до +32°C;
 - гидростатическое давление розеток: сталь – до 40 кгс/см², титановый сплав – до 250 кгс/см².



Рис. 5.3 Внешний вид разъема РВДК-3

Исходя из условий эксплуатации обозначенных элементов, для их испытаний необходима, в первую очередь, организация экспериментальных исследований их устойчивости к воздействию повышенного внешнего давления.

5.2. Испытания технических жидкостей, применяемых в подводном аппаратостроении

Одним из основных направлений использования жидкостей в подводной технике является заполнение пассивных и активных погружных систем подводных аппаратов. Погружные системы – это системы, работающие в условиях внешнего гидростатического давления, при этом, как правило, обеспечивается отсутствие доступа к ним со стороны внешней (морской) среды, а гидростатическое давление передается ко всем действующим элементам через жидкость-заполнитель. К пассивным погружным системам относятся системы, в которых рабочая жидкость находится в состоянии покоя и используется только для передачи внешнего давления к элементам системы. Перепад давления в таких системах по отношению к забортному составляет от 0 до 0,2 МПа. К активным погружным системам относятся системы, в которых жидкость-заполнитель передает элементам системы не только энергию гидростатического поля, но и энергию от насосных установок (к таким системам в основном относятся различные гидроприводы). При этом перепад давлений «система – забортная среда» определяется энергией, необходимой для выполнения работы элементами системы.

Таким образом, в погружных системах заполнители обеспечивают [71]:

- передачу гидростатического давления во все элементы системы;
- изоляцию погружных устройств от воздействия внешней среды (морской воды);
- длительную работоспособность подвижных элементов за счет своих смазывающих свойств;
- отвод теплоты, выделяющейся в процессе работы погружных устройств;
- дополнительную положительную плавучесть ПА.
- передача энергии давления от насосного агрегата к исполняющим механизмам (для активных систем);
- электрическая изоляция погружных механизмов (для пассивных систем).

Кроме этого заполнители должны обеспечивать защиту конструкций погружных систем от коррозии при длительной эксплуатации.

Для выполнения обозначенных функций рабочие жидкости должны обладать рядом свойств, наиболее важные из которых перечислены ниже [71].

Небольшой удельный вес. Это свойство рабочей жидкости имеет большое значение для обеспечения плавучести ПА, особенно при большом объеме погружной системы.

Малая зависимость плотности от гидростатического давления, небольшой коэффициент температурного расширения. Эти свойства определяют изменение объема жидкости при погружении ПА и изменении

температуры, что влияет на рабочие объемы применяемых компенсаторов. Степень сжимаемости жидкости также зависит от количества растворенных в ней газов. Понятно, что перед рабочим использованием, их необходимо по возможности максимально удалить из жидкости. Для этого может применяться ее вакуумирование.

Хорошая теплопроводность. Рабочая жидкость передает тепло от погружных механизмов к стенкам разгруженного корпуса, поэтому коэффициент ее теплопроводности является одним из основных факторов, определяющих температуру погружного элемента.

Высокая химическая стабильность. От этого качества зависит устойчивость жидкости к изменению своего состава и основных свойств при длительном воздействии высоких гидростатических давлений и других внешних воздействий.

Смазывающие свойства. Наличие таких свойств у рабочей жидкости необходимо для обеспечения длительной работоспособности всех пар трения в погружной системе. Смазывающая способность напрямую связана с вязкостью жидкости, при этом смазывающие свойства тем лучше, чем жидкость более вязкая. Однако большая вязкость является препятствием для работы быстродействующих погружных электрических устройств с подвижными элементами, поэтому необходимо внимательно относиться к выбору жидкости по этому критерию в каждом отдельном случае.

Нерастворимость в морской воде. Это свойство необходимо для того, чтобы в случае разгерметизации погружной системы, проникшая внутрь последней морская вода не вступала во взаимодействие с рабочей жидкостью, а оседала в нижней части разгруженного корпуса. Только в этом случае жидкость-заполнитель сохраняет свои диэлектрические и антикоррозионные свойства.

Экологическая безопасность. Это также одно из ключевых свойств, которыми должна обладать рабочая жидкость, поскольку токсичная жидкость, попав в окружающую среду, может нанести последней существенный вред.

Также к общим требованиям к жидкостям-заполнителям относятся небольшая летучесть, способность хорошо защищать от коррозии детали погружной системы и невысокая стоимость.

В зависимости от типа применяемых погружных систем к свойствам их заполнителей и рабочих жидкостей предъявляются следующие требования.

Степень вязкости рабочей жидкости и характер ее зависимости от температуры и гидростатического давления. Жидкости с низкой вязкостью и малыми коэффициентами зависимости вязкости от температуры и давления используются для следящих гидроприводов, погружных электродвигателей и электромеханизмов с подвижными элементами. На погружные аккумуляторы данные требования не распространяются, для них могут применяться жидкости с любой вязкостью.

Электрическая прочность. Это свойство является одним из основных для погружных электрических элементов, аккумуляторов и систем коммутирования, требующих хорошей электрической изоляции. Для механических устройств погружных систем и гидроприводов это свойство не имеет значения.

Способность к обеспечению скрытности. Это свойство имеет особенную значимость для подводной техники военного назначения. В случае утечки или разрушения емкости, в которой находится жидкость, она не должна демаскировать подводный объект (например, путем образования на поверхности океана масляных пятен).

Понятно, что подобрать рабочую жидкость, которая в равной степени обладала бы всеми перечисленными свойствами, невозможно. Поэтому, исходя из большинства обозначенных требований, в качестве рабочих жидкостей во многих современных погружных системах применяются масла – минеральные и синтетические. К недостаткам первых относятся образование эмульсии с морской водой и более высокая, чем у синтетических масел, вязкость, к тому же, в большей степени зависящая от давления. К их преимуществам могут быть отнесены меньшая, чем у синтетических масел, сжимаемость, хорошие диэлектрические свойства, сохраняющиеся при содержании в них морской воды до 9%, лучшие, чем у синтетических масел, антикоррозионные свойства. Недостатками синтетических масел являются высокая летучесть, слабая защита от коррозии, резкое ухудшение диэлектрических свойств при примеси всего 1% морской воды и более высокая стоимость. К их общим недостаткам могут быть отнесены недостаточная экологичность и невозможность обеспечения скрытности.

Ниже в таблице 5.1 приведены основные характеристики жидкостей-заполнителей погружных систем [48].

Таблица 5.1

Жидкость	Удельный вес, Н/м ³	Вязкость, м ² /с, при	
		0,07 °К	0 °К
Масло АМГ-10.....	0,850	16·10 ⁻⁶	42·10 ⁻⁶
Керосин:			
Т-1.....	0,800	2,5·10 ⁻⁶	4·10 ⁻⁶
Т-2.....	0,790	1,05·10 ⁻⁶	2·10 ⁻⁶
Масло:			
трансформаторное....	0,890	35·10 ⁻⁶	85·10 ⁻⁶
силиконовое.....	0,940	9·10 ⁻⁶	10·10 ⁻⁶
MiL-H-5606.....	0,867	33·10 ⁻⁶	40·10 ⁻⁶

Говоря о рабочих жидкостях, применяемых в подводной технике, будет уместным вкратце охарактеризовать и саму морскую воду как среду, в

которой действует техника. Ниже более подробно рассмотрим некоторые характеристики, присущие морской среде, и их влияние на технологию.

Глубина. С изменением глубины изменяются многие факторы, определяющие характеристики (и, как следствие, технологии) подводных технических средств. Повышение давления, действующего на подводное техническое средство, приводит, в первую очередь, к необходимости увеличения его прочностных и массовых характеристик. Внешнее давление является главным критерием при проектировании и расчете прочных корпусов подводных аппаратов и другой глубоководной техники. При этом устойчивость элементов подводной техники к нагружению определяется не только абсолютными значениями возникающих в них напряжений и неравномерностью их распределения, но и цикличностью их изменения и характером цикла нагружения, а именно скоростью изменения глубины при погружении и всплытии. Все это влияет на усталостную прочность глубоководной конструкции, ограничивая число рабочих циклов, после которых нагружаемый элемент должен быть заменен (в случае, если восстановление его свойств невозможно), либо (в случае с отдельными металлическими элементами) подвергнут повторной термической обработке для снятия усталостных напряжений. В целом, длительность работы металлических конструкций в морской воде из-за усталостных явлений приблизительно вдвое меньше, чем на воздухе. Изменяется в процессе эксплуатации и прочность других конструкционных материалов. Кроме этого, повышение давления с глубиной оказывает существенное влияние на человеческий организм, что, после определенного предела, практически не позволяет организовать контроль за работой технических устройств с помощью водолазов, и, тем самым, требует использования более автономных технологий.

С давлением связана сжимаемость. У морской воды она относительно незначительна – при возрастании давления на 1000 дбар (в океанологии давление принято измерять в децибарах), что соответствует увеличению глубины приблизительно на 1 км, плотность возрастает на 0,004 [4]. На рис. 5.4 показана зависимость объема воды от давления [69].

Температура. Пределы изменения температуры в Мировом океане достаточно широки, поэтому подводная техника должна быть рассчитана на ее перепады не менее чем от + 30 до – 2 °С. Это также влияет на выбор рабочей жидкости по критерию величины коэффициента теплового расширения. Величина перепада температуры в океане зависит от района и может быть очень изменчивой. Так, на одной широте в течение одного сезона толщина прогретых слоев весьма различна. Изменение температуры связано также и с глубиной. Наибольший перепад наблюдается в морях средних широт. В Черном море, например, температура поверхностного слоя изменяется от 25 до 6 °С, в северных районах Японского моря – от 20 до 2 °С. Температуры воды в северных морях более стабильны [50].

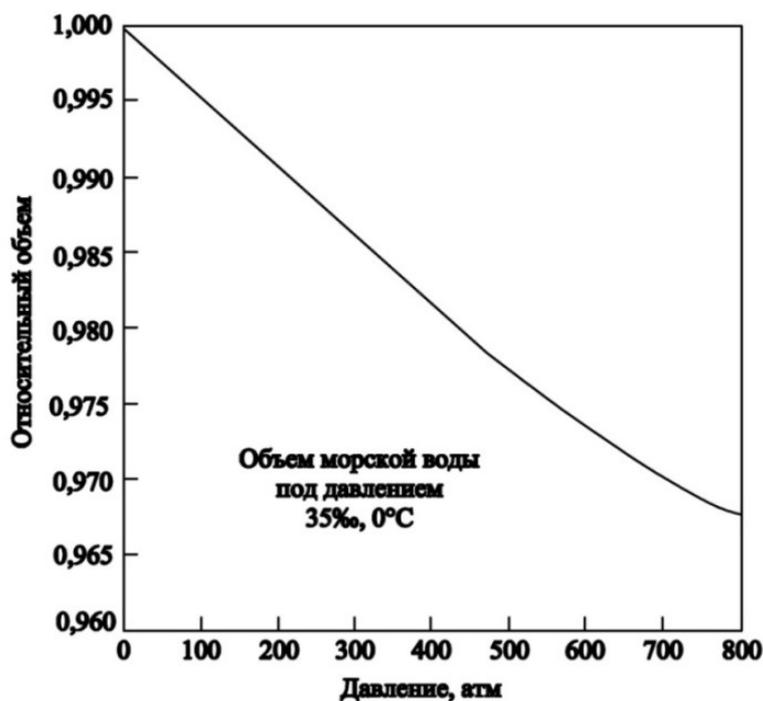


Рис. 5.4 Зависимость объема воды от давления

С температурой воды связано еще одно явление – термоклин, который представляет из себя зону резкого изменения температуры. В районах с резкими колебаниями температуры в течение суток возможно появление двух разделенных по глубинам скачков температуры – суточного, наблюдающегося на глубине нескольких метров от поверхности, и сезонного, находящегося на значительной глубине. Например, в открытых районах Японского моря средняя глубина расположения сезонного термоклина летом примерно 25 м. Вблизи берегов из-за деятельности дрейфовых течений термоклин поднимается к поверхности. Термоклин является причиной многих явлений, таких как аномальное распространение звуковых волн (рефракция) в воде, резкое изменение прозрачности, образование внутренних волн на границе раздела вод разной плотности. Амплитуды таких волн в десятки раз превышают амплитуды обычных поверхностных волн, а скорости их распространения примерно в 50 раз меньше, что может представлять значительную опасность для глубоководных аппаратов [50].

Соленость. В морской воде находятся в растворённом состоянии минеральные соли, газы (главным образом кислород, азот, двуокись углерода, в некоторых районах сероводород) и незначительное количество органических веществ (1-5 мг/л). Кроме того, в небольших количествах содержатся органические и минеральные взвеси. Морская вода характеризуется постоянством количественных соотношений между концентрациями главных ионов, образующих 99,9 % состава растворённых в морской воде веществ. В некоторых морях (Балтийском, Чёрном, Азовском, Каспийском и др.) соотношение между ионами иное.

Соленостью S в промилле (‰) называется количество твёрдых веществ в граммах, растворённое в 1 кг морской воды, при условии, что все галогены

заменены эквивалентным количеством хлора, все карбонаты переведены в окислы, органическое вещество сожжено. Хлорность – количество хлора в г/кг или в промилле (‰), эквивалентное всей сумме галогенов в морской воде. Практически солёность всегда находят косвенным путём – либо по хлорности, либо по относительной электропроводности, определяемым непосредственно [4].

Солёность воды в океанах почти повсеместно близка к 35‰, однако вода в морях имеет неравномерно распределённую солёность. Наименее солёной является вода Финского залива и северной части Ботнического залива, входящих в акваторию Балтийского моря. Наиболее солёной является вода Красного моря. Солёные озёра, такие как Мёртвое море, могут иметь значительно больший уровень содержания солей.

Соленость является одним из факторов морской коррозии металлов и, кроме того, влияет на плотность воды.

На рисунке 5.5 обозначены типичные профили температуры (1) и солёности (2) морской воды в зависимости от глубины [69].

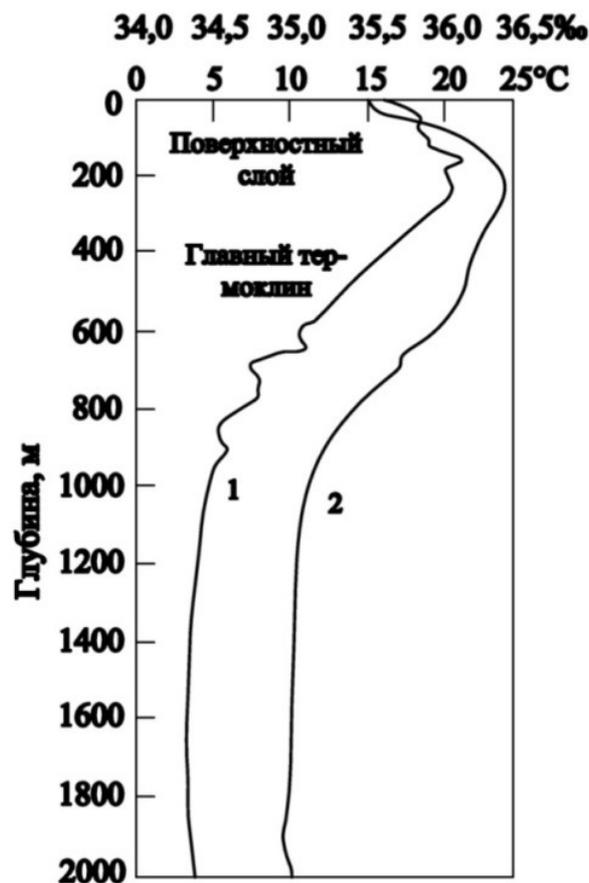


Рис. 5.5 Типичные профили температуры и солёности

Температура замерзания морской воды также зависит от солёности; при $S = 35 ‰$ она равна $-1,91 ‰C$. При $S = 24,7 ‰$ температуры замерзания и наибольшей плотности совпадают и равны $-1,33 ‰C$. При S менее $24,7 ‰$ процесс замерзания морской воды протекает, как в пресной воде. При S

больше 24,7 ‰ плотность морской воды возрастает до самого замерзания, в результате чего возникает мощная конвекция и процесс замерзания становится более длительным, чем для пресной воды [4].

Плотность. Плотность морской воды зависит от солёности S , температуры T и давления. В океанологии пользуются условной плотностью

$$s_t = (r - 1) \cdot 10^3,$$

где r – отношение плотности воды при данных температуре и солёности к плотности дистиллированной воды при 4° С (обе при атмосферном давлении).

В океане s_t равна от 23 до 30. При повышении солёности на 1 ‰, s_t возрастает приблизительно на 0,8, т. е. плотность возрастает на 0,0008. При понижении температуры на 1° С, s_t возрастает на 0,02-0,35 [4].

Плотность изменяется с увеличением глубины. Наиболее серьезные технологические трудности, обусловленные этим фактором, связаны с изменением величины выталкивающей силы, действующей на подводные устройства. Это требует создания специальных компенсаторов и систем регулировки плавучести. Без учета изменения плотности невозможно правильно определить режимы работы любых подводных устройств, основанных на принципе использования подъемной силы. С увеличением плотности возрастает сила сопротивления движению как подводных аппаратов, так и любых движущихся устройств.

Коррозионная активность. Мировой океан содержит около 1370000000 км³ или 1413·10¹⁸ кг водного раствора электролитов средней концентрации. Морская среда чрезвычайно агрессивна, в ней быстро разрушается большинство известных конструкционных материалов, успешно применяемых без специальных мер защиты в наземных сооружениях. Морская вода хорошо аэрирована (около 8 мг/л кислорода), ее электропроводность достаточно высокая и составляет (2,5-3,0)·10⁻² Ом⁻¹·см⁻¹, имеет нейтральную или слабощелочную реакцию (рН = 7,2-8,6). Присутствие в морской воде ионов хлора делает эту среду высоко коррозионно-активной.

Коррозия в морской воде протекает по электрохимическому механизму исключительно с катодным контролем. Наличие ионов-активаторов (Cl⁻) препятствует образованию пассивных пленок на поверхности металлов. Высокая электропроводность исключает проявление омического торможения.

Зависимость скорости коррозии железа от концентрации NaCl в аэрированном водном растворе проходит через максимум при содержании NaCl > 3%. Уменьшение скорости коррозии объясняется снижением растворимости кислорода в воде с ростом концентрации NaCl [59].

В целом, к особенностям процесса морской коррозии можно отнести:

- высокую агрессивность среды (как самой воды, так и окружающей атмосферы);
- большое влияние контактной коррозии металлов;
- дополнительное влияние механического фактора (эрозия, кавитация);

- наличие выраженной биологической коррозии и значительное влияние биологического фактора (за счет обрастания корпуса морского технического объекта микроорганизмами).

К факторам морской коррозии металлов относятся:

1. *Состав морской воды.* Например, присутствие в воде сероводорода облегчает протекание как катодного, так и анодного процессов коррозии. На поверхности металла образуются труднорастворимые сульфиды, кроме того идет подкисление среды. Ионы брома, йода даже при очень малом их содержании ускоряют процесс морской коррозии металлов. Некоторые соединения могут оказывать благоприятное действие (углекислый кальций, кремнекислые соединения). Они образуют на поверхности металла или сплава оксидную пленку, обладающую защитным эффектом.

2. *Движение водных масс.* Этот фактор влияет на скорость диффузии кислорода, увеличение скорости потока ведет к усилению коррозии вследствие улучшения аэрации поверхности металла. Кроме того, высокие скорости потока способствуют его эрозионному разрушению. При интенсивном перемешивании воды (быстрое движение морского технического объекта) процесс проходит преимущественно с кинетическим контролем, а при неподвижной воде – диффузионным.

3. *Зазоры и щели.* Наличие зазоров и щелей в металлоконструкции очень негативно влияет на морскую коррозию металла. Металл в щели плохо аэрирован и играет роль анода, проходит его усиленное растворение.

4. *Прокатная окалина на поверхности металла.* Наличие на поверхности металлоконструкции участков, неочищенных от прокатной окалины в десятки раз может ускорить протекание морской коррозии. На поверхности металла возникает гальванопара. В этом случае окалина является катодом, а чистый металл – анодом. Проходит анодное растворение металла. Такой же эффект наблюдается при наличии окрашенных участков (по отношению к неокрашенным) или при нарушении сплошности лакокрасочного покрытия.

5. *Биологическая морская коррозия.* Присутствие в морской воде различных микроорганизмов (бактерии, моллюски, кораллы и т.д.) приводит к биокоррозии металла. Из-за нарастания и скопления этих организмов на поверхности морских объектов, к последней плохо подходит кислород, возникают неровности, происходит разрушение поверхности, усиленное коррозионное разрушение в щелях и зазорах. Микроорганизмы ускоряют разрушение противокоррозионных покрытий, что приводит к появлению локальных участков оголенного металла и провоцирует его интенсивное разрушение.

Кроме влияния микроорганизмов на коррозионный процесс, их скопление на корпусе подвижного морского объекта может препятствовать его движению, при этом создавая дополнительную нагрузку на двигательный комплекс объекта.

Морской биокоррозии наиболее часто подвергаются стали, сплавы на никелевой, алюминиевой основе, свинец, олово и сплавы на их основе. Магний и цинк морской биокоррозии могут не подвергаться. Наилучшим материалом для применения в условиях биокоррозии можно считать медь. Ее ионы токсичны, вследствие чего поверхность не обрастает.

6. *Контактная коррозия.* Очень часто в условиях морской атмосферы наблюдается контактная коррозия металлов, т.е. коррозионное разрушение, которое происходит при контакте двух разнородных металлов, обладающими разными электрохимическими свойствами. При неправильной компоновке металлов и сплавов данный вид коррозионного разрушения выводит из строя множество сложных металлических конструкций. Контактная коррозия наблюдается, например, при связи алюминия или сплавов на его основе с углеродистой сталью, алюминий с цинком и т.д. Контактная коррозия также может происходить при контакте деталей из одного и того же металла, соединенных при помощи пайки либо сварки. При этом шов будет отличаться по электрохимическим свойствам от основного металла. Также вызвать контактную коррозию у одного и того же металла может различная механическая обработка.

При контакте двух разнородных металлов, на их поверхности реализуется компромиссный потенциал, который по своему значению отличается от потенциалов каждого из металлов в отдельности. Компромиссный потенциал определяется пересечением суммарных поляризационных кривых: анодной и катодной. При контактной коррозии анодом будет тот металл, который обладает большим по величине отрицательным потенциалом, катод при этом имеет более электроположительный. Скорость растворения анода может быть выше, ниже либо равна его собственной скорости растворения в том же электролите.

Очень многие металлы, находясь в морской воде, становятся катодами по отношению к стали.

7. *Электрокоррозия.* Электрокоррозия возникает в морской среде по двум причинам: во-первых, под действием блуждающих токов (особенно в районе порта и т.п.); во-вторых – в результате неправильных схем питания на судне или других объектах. При этом электрокоррозия зависит также от района действий морского технического средства, поскольку относительная электрическая проводимость морской воды R_r , определяемая как отношение проводимости данной пробы к проводимости морской воды соленостью 35 ‰ при одинаковых температурах и атмосферном давлении, растет с увеличением солёности от 0,105 при $S = 3 ‰$ до 1,126 при $S = 40 ‰$ (при температуре 20° C) [4].

8. *Механический фактор.* В результате воздействия механического фактора возможна коррозионная усталость, коррозионная эрозия и кавитация. Особую роль в эксплуатации морских технических средств приобретает фактор случайного повреждения защитных покрытий, в

результате которого водная среда получает возможность разрушать внутренние структурные элементы, обеспечивающие прочность конструкций. Такое происходит, например, при истирании на грунте полиэтиленового покрытия морских кабелей и т. д.

Резюмируя все вышесказанное, можно сказать, что скорость разрушения в морской воде, безусловно, значительно выше, чем в других средах и существенно зависит от типа примененного материала, качества и стойкости покрытий, надежности работы противоразрушающих и противокоррозионных устройств, т.е. от применяемых технологий.

Из конструкционных материалов наиболее часто выбирают для эксплуатации в условиях морской коррозии сталь. Для быстроходных морских судов и морской авиации используют более легкие сплавы.

Обитаемость. С наличием биологических объектов в океане связан комплекс технологических проблем. Самый большой вред причиняют организмы, поселяющиеся на различных технических объектах и разрушающие их поверхность. Опасность может также исходить и от морских животных. В качестве примера можно привести случай, произошедший весной 2011 года, когда робот Wave Glider, разработанный компанией Liquid Robotics, стал жертвой нападения акулы во время исследований, проводившихся в Мексиканском заливе по заказу ВР [75]. Опасность нападения акул на людей также весьма реальна при организации и выполнении водолазных работ в некоторых акваториях, что требует применения специальных защитных технических устройств.

Как можно видеть, морская вода существенно отличается от других сред по своим характеристикам. Именно поэтому подводная техника зачастую требует применения иных рабочих жидкостей, чем техника, работающая в воздушной среде.

Возвращаясь к вопросу об испытаниях технических жидкостей, следует отметить, что все перечисленные ранее требования, которым должна отвечать рабочая жидкость, используемая для вновь создаваемых подводных технических устройств, неизбежно ставят вопрос о всестороннем изучении свойств технических жидкостей еще на стадии проектирования подводной техники, то есть, вопрос их стендовых испытаний.

Понятно, что наличие целого ряда требований практически исключают возможность организации комплексных испытаний, способных подвергнуть изучению одновременно все стороны исследуемой жидкости. Поэтому испытания могут иметь характер нескольких последовательных экспериментов, во время каждого из которых исследуется какое-либо одно (или, если возможно, несколько) свойство жидкости. После окончания всех экспериментов, их данные суммируются, и принимается решение о пригодности или непригодности исследованной жидкости для проектируемого технического устройства.

Как следствие этого, для проведения каждого эксперимента необходимо соответствующее испытательное оборудование, которое, в общем случае, будет разным для всех опытов.

Рассмотрим исследования тех свойств жидкости, которые были приведены выше. Эти исследования условно можно разделить на две группы – испытания, которые могут проводиться в нормальных условиях (при атмосферном давлении) и испытания, которые требуют имитации внешних условий подводной среды, в первую очередь, внешнего давления.

К первой группе можно отнести исследования теплопроводности рабочей жидкости, ее химической стабильности, растворимости в морской воде, смазывающих свойств, характера зависимости ее вязкости и других свойств от температуры. Опытное оборудование, применяемое для этих исследований, не требует особой прочности и связанных с ней больших габаритных размеров и высокой точности изготовления. Так, например, исследование смазывающих свойств жидкости может быть проведено на четырехшариковой машине в соответствии с ГОСТ 9490-75 [23]. Поэтому, хотя данная группа и является ответственной, она не требует значительных финансовых и временных вложений.

Ко второй группе относятся такие исследования, как изучение зависимости вязкости и плотности рабочей жидкости от гидростатического давления. Такие исследования требуют значительно большей подготовки, особенно в случае испытаний глубоководной техники. Это связано с необходимостью создания внутри специально спроектированных и изготовленных прочных камер, заполненных исследуемой жидкостью, высоких величин давления. Это накладывает на разработчика и изготовителя подобного оборудования серьезную ответственность за его качество и способность обеспечить безопасность проведения испытаний. Данные обстоятельства приводят к тому, что испытания, связанные с созданием искусственных условий работы глубоководной техники, могут организовываться и проводиться только крупными организациями, имеющими большой опыт испытаний подводных технических средств.

Таким образом, можно видеть, что наиболее востребованными и ответственными испытаниями, которым должны подвергаться жидкости и элементная база подводных аппаратов, являются испытания на воздействие внешнего гидростатического давления и связанные с ними. В главе 6 рассмотрим более подробно стендовое оборудование, используемое для таких испытаний и стандартную программу и методику их проведения.

Глава 6. Стенды для гидравлических испытаний элементной базы подводной робототехники

В настоящей главе рассмотрим состав и возможные варианты исполнения испытательного оборудования, используемого для проведения гидравлических испытаний подводной робототехники.

Цель гидравлических испытаний – проверка прочности и плотности корпусов и оборудования подводных технических объектов.

Гидравлические стенды, предназначенные для проведения таких испытаний, позволяют, в зависимости от размеров рабочей камеры, организовывать натурные или масштабные исследования элементной базы подводной робототехники (например, конструкционных материалов, рабочих жидкостей, уплотнительных узлов, прочных корпусов приборов и др.) в условиях, максимально приближенных к реальным, за счет создания внутри рабочей камеры, гидравлического давления, то есть имитации внешних условий на глубине погружения подводных технических средств.

Для примера, рассмотрим состав стенда, конструктивная схема которого приведена на рис. 6.1.

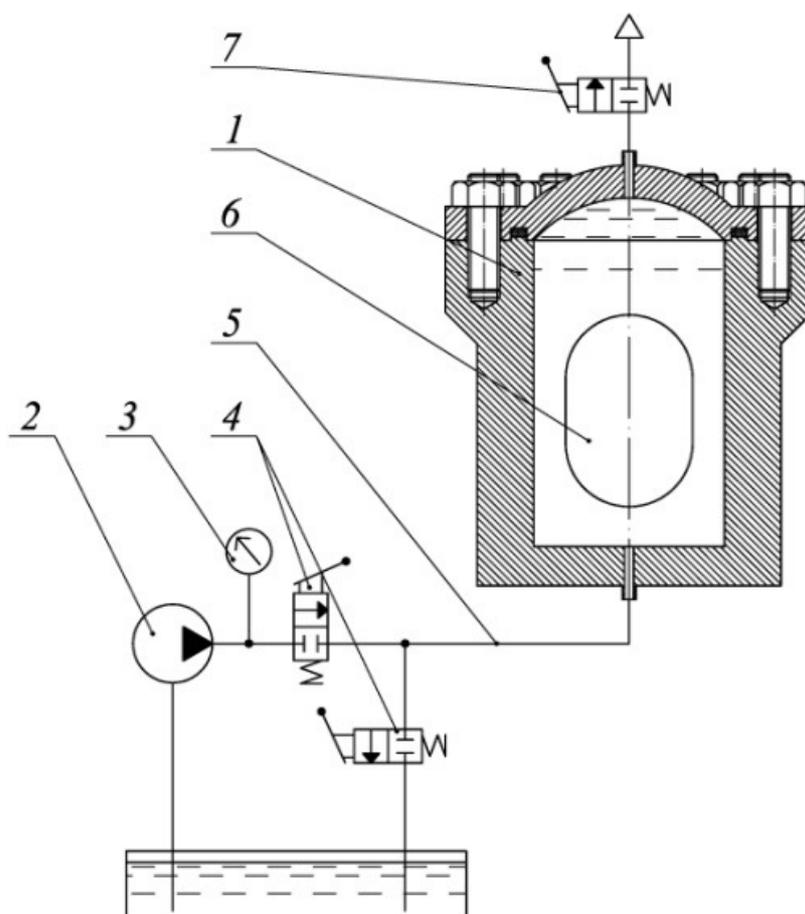


Рис. 6.1 Стандартная схема стенда для испытаний изделий на воздействие внешнего гидростатического давления

1 – рабочая камера; 2 – насос; 3 – манометр; 4 – управляющие клапаны; 5 – трубопровод; 6 – объект испытаний; 7 – вентиляционный клапан.

Как можно видеть, в состав стенда входят рабочая камера, источник давления – гидравлический насос, а также контрольная и управляющая аппаратура. При проведении испытаний внутри заполненной жидкостью рабочей камеры помещается испытываемый объект, камера закрывается герметичной крышкой, из нее с помощью вентиляционного клапана удаляются остатки воздуха (что имеет существенное значение), после чего давление в ней повышается с помощью насоса в соответствии с программой испытаний. После выдержки объекта испытаний под давлением и снижения последнего до уровня атмосферного, крышка камеры вновь может быть открыта и объект испытаний извлечен.

В качестве примера подобного стенда может быть рассмотрена 900-атмосферная тест-камера для испытаний глубоководной техники Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН [60]. Она была изготовлена в 70-е годы XX века по инициативе профессора И. Е. Михальцева на Уральском заводе химического машиностроения и была установлена в г. Геленджике. В 1990 г. тест-камера была законсервирована, а в середине 2000-х были проведены работы по ее восстановлению. В 2008 году были осуществлены техническое освидетельствование, диагностика и получено разрешение на эксплуатацию тест-камеры.

Камера имеет следующие основные технические характеристики:

- рабочее давление 900 кгс/см²;
- внутренний диаметр 800 мм;
- длина внутренней рабочей части 5000 мм;
- рабочая среда – вода;
- источник давления – насос НП-800;
- вес – 45 тс;
- вес крышки – 5 тс;
- положение в пространстве – вертикальное.

Учитывая массогабаритные характеристики камеры, она оснащена спускоподъемным устройством крышки, а также малым спускоподъемным устройством для работы с объектами, подлежащими испытанию

В верхней части камеры расположены четыре отверстия диаметром 150 мм, предназначенные для монтажа в них электрических, гидро- и пневмовводов, а также иллюминаторов и других устройств, обеспечивающих функционирование объекта испытаний и измерительной аппаратуры. Такое отверстие показано на рис. 6.2.

Тест-камера имеет монтажную раму, на которой можно собрать необходимую для испытаний схему подключения узлов и агрегатов к устройствам, расположенным вне камеры. На рис. 6.3 показан спуск в камеру пространственной рамы с закрепленными на ней испытываемыми элементами движительно-рулевого комплекса подводного спасательного аппарата «Бестер». Приведенный снимок также позволяет наглядно представить себе габаритные размеры этого уникального (без сомнения, в

настоящее время изготовление подобной камеры обойдется в немислимую сумму) стенда.



Рис 6.2 Отверстие во фланце камеры



Рис. 6.3 Спуск в камеру пространственной рамы с закрепленными на ней испытываемыми элементами движительно-рулевого комплекса АСА «Бестер»

Описанное выше строение стендов имеет преимущество, заключающееся в их простоте, но они имеют и недостатки.

Основным недостатком таких решений является невозможность использования внутри рабочих камер агрессивных жидкостей, например,

морской воды. Это связано не столько с возможной коррозией рабочей камеры, сколько с отрицательным влиянием на насосное оборудование, с помощью которого создается давление внутри камеры. Понятно, что использование агрессивных сред в насосах существенно сокращает их рабочий ресурс, а также негативно влияет на работоспособность гидравлической системы в целом.

Для устранения этого недостатка при участии автора была разработана конструкция гидравлического стенда для испытаний глубоководных объектов [35], особенностью которого является разделение объемов рабочей камеры и гидравлической системы. Это позволяет исследовать или использовать для проведения испытаний любые жидкости, в том числе агрессивные.

Принципиальная схема стенда показана на рис. 6.4.

Стенд содержит герметичный резервуар 1, состоящий из корпуса 2, верхней 3 и нижней 4 крышек, имеющих уплотнительные узлы 5, полностью заполненный рабочей жидкостью 6, расположенный между основанием 7 и установленной над ним на стойках 8 траверсой 9 с возможностью перемещения вдоль стоек и поворота относительно одной из них с помощью расположенных на корпусе 2 и нижней крышке 4 проушин 10.

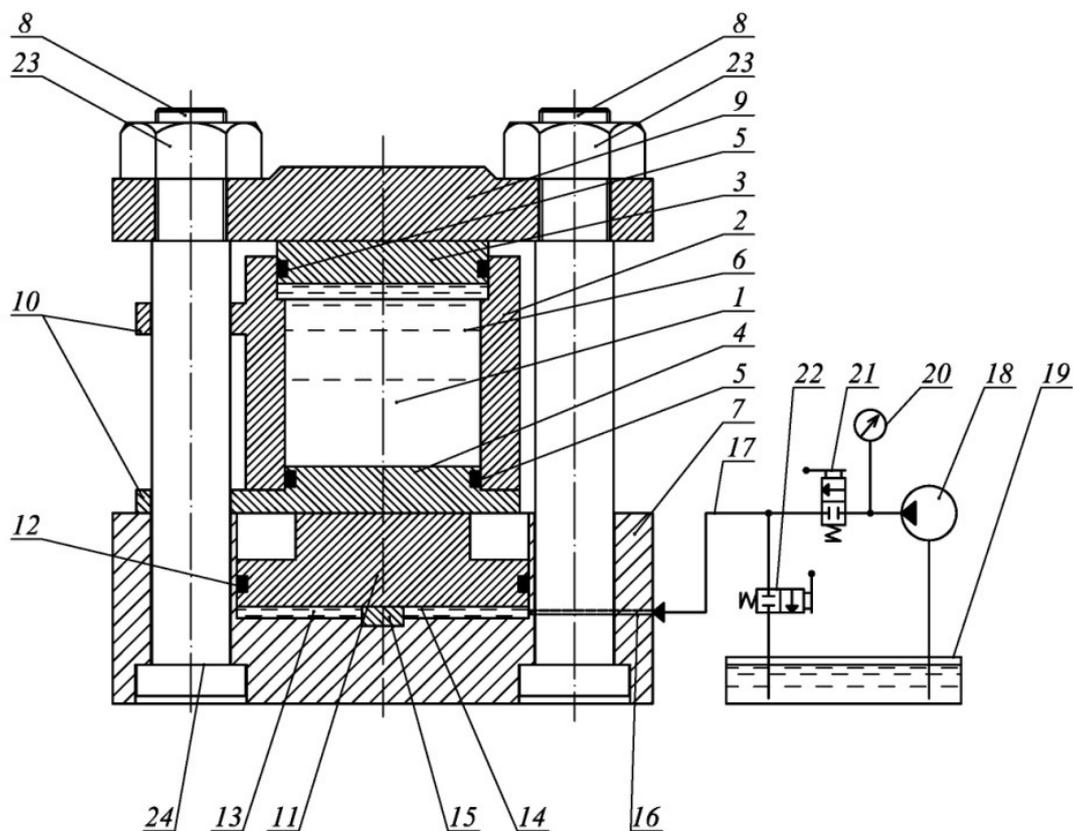


Рис. 6.4 Принципиальная схема гидравлического стенда для испытаний глубоководных объектов

В основании 7 установлен силовой гидроцилиндр, состоящий из поршня 11 с уплотнительным узлом 12, взаимодействующего с нижней

крышкой 4 резервуара, и полости 13 с рабочей жидкостью 14. Минимальный объем полости 13 обеспечивается наличием проставки 15. В основании 7 выполнен канал 16, соединяющий полость 13 с трубопроводом 17, к которому подсоединен насос 18, обеспечивающий подачу специальной рабочей жидкости 14 из емкости 19. Трубопровод 17 содержит также средства контроля давления 20, перепускной клапан 21 и сливной клапан 22, обеспечивающий слив специальной рабочей жидкости 14 из трубопровода 17, канала 16 и полости 13. Траверса 9 закреплена на стойках 8 с помощью разъемных соединений 23 (например, гаек). Стойки 8 также закреплены в основании 7 с помощью разъемных соединений 24. Крышка 4 может быть выполнена как одно целое с корпусом 2.

Стенд работает следующим образом.

Перед началом работы все клапаны стенда закрыты, все полости стенда находятся под атмосферным давлением, полость резервуара 1 полностью заполнена рабочей жидкостью 6, полость 13 заполнена специальной рабочей жидкостью 14. Необходимые вентиляционные отверстия и клапаны не показаны. Резервуар 1 с помощью проушин 10 разворачивается относительно одной из стоек 8 таким образом, чтобы обеспечить доступ к его внутреннему объему. Верхняя крышка 3 снимается и внутрь корпуса 2 укладывается объект, подлежащий испытаниям. Затем верхняя крышка 3 возвращается на место, резервуар 1 поворачивается в исходное положение. Стенд подготовлен к работе.

Далее открывается перепускной клапан 21 и, с помощью насоса 18, рабочая жидкость 14 подается из емкости 19 в полость 13, создавая внутри последней давление, величина которого контролируется с помощью средств контроля давления 20. При этом поршень 11 начинает двигаться вверх, поджимая резервуар 1 к неподвижно закрепленной траверсе 9 и вынуждая подвижную верхнюю крышку 3 двигаться вниз, сжимая рабочую жидкость 6 и, тем самым, создавая в ней избыточное давление, которое может быть измерено или вычислено исходя из давления в полости 13 и соотношения площадей поршня 11 и верхней крышки 3. По достижении давления, необходимого для проведения испытаний, насос 18 останавливается, перепускной клапан 21 закрывается и производится выдержка объекта испытаний под избыточным давлением в течение времени, предусмотренного программой испытаний. Затем с помощью сливного клапана 22 рабочая жидкость 14 из полости 13 стравливается и объект испытаний с помощью описанного ранее способа может быть извлечен из резервуара 1. Возможность проведения с помощью стенда испытаний на сверхвысокие давления обеспечивается наличием в верхней 3 и нижней 4 крышках уплотнительных узлов 5 и отсутствием в конструкции фланцевых и сварных соединений, что одновременно обеспечивает быструю подготовку к испытаниям и высокую безопасность их проведения. Разделение объемов резервуара 1, в котором создается давление, и полости 13, обеспечивающей создание давления в резервуаре 1 и связанной с насосом 18, позволяет

использовать внутри резервуара *I* реальную жидкость (например, морскую воду, не желательную для использования в качестве рабочей жидкости в насосах).

Таким образом, можно видеть, что, хотя конструкции гидравлических стендов могут иметь отличия, их объединяет общая техническая сущность – создание в прочной камере избыточного гидравлического давления с целью имитации условий пребывания подводного технического средства на глубине.

Итак, обобщенный вариант конструкции гидравлического стенда понятен. Рассмотрим далее типовые программу и методику проведения гидравлических испытаний изделий на прочность и герметичность.

Касаясь вопроса внешнего оформления обозначенных программы и методики, отметим, что оно должно соответствовать ГОСТ РВ 15.211 (см. Приложения 2-4). Ниже рассмотрим только некоторые общие положения, которые должны быть отражены в программе и методике гидравлических испытаний.

Гидравлические испытания на прочность проводятся:

- после производства организацией-изготовителем корпусов или оборудования;
- при технических освидетельствованиях в процессе эксплуатации;
- после выполнения ремонта с использованием сварки в случаях, когда невозможно проведение контроля сварных соединений неразрушающими методами в объеме, регламентированном нормативной документацией.

Гидравлические испытания на плотность должны подтвердить герметичность разъемных соединений корпусов и оборудования для всех режимов эксплуатации, предусмотренных проектом. Гидравлические испытания на плотность после разгерметизации разъемных соединений являются обязательными.

Гидравлические испытания должны проводиться с использованием негорючей испытательной среды.

Кроме общих сведений, программа и методика гидравлических испытаний должны содержать:

- информацию об испытываемом оборудовании (включая конструкторскую документацию, необходимую для организации и проведения испытаний);
- сведения об испытательной среде и требования к ее качественным характеристикам;
- сведения о необходимых условиях проведения испытаний;
- значения допустимых скоростей изменения давления и температуры;
- значение давления, при котором должна проводиться выдержка;
- время выдержки под давлением;
- допускаемые пределы колебаний давления и температуры в процессе выдержки;

- информация об источнике давления (насосе) и схеме его подключения;
- сведения о методе нагрева испытательной среды (если это необходимо);
- перечень используемой измерительной аппаратуры с указанием класса точности всех приборов и сведений об их монтаже;
- сведения о порядке заполнения испытательного оборудования рабочей средой и ее дренировании;
- сведения о мероприятиях по подготовке оборудования к испытаниям;
- сведения о возможных нештатных ситуациях и мерах по борьбе с ними.

Рассмотрим параметры гидравлических испытаний оборудования.

Давление гидравлических испытаний

Давление гидравлических испытаний P_h при проверке прочности должно быть не менее

$$P_h = K_h P \frac{\sigma^{T_h}}{\sigma^T},$$

где P – расчетное давление при испытаниях в организации-изготовителе или рабочее давление испытаний при монтаже и в процессе эксплуатации;

$$K_h = \begin{cases} 1,25 & \text{– для оборудования;} \\ 1 & \text{– для корпусов.} \end{cases}$$

$\sigma^{T_h} = \min(R_m^{T_h}/2,6; R_{p0,2}^{T_h}/1,5)$ – номинальное допускаемое напряжение при температуре гидравлических испытаний T_h в материале элемента конструкции;

$\sigma^T = \min(R_m^T/2,6; R_{p0,2}^T/1,5)$ – номинальное допускаемое напряжение при расчетной температуре T в материале элемента конструкции;

$R_m^{T_h}$ и R_m^T – минимальные значения предела прочности при температуре испытаний и расчетной температуре соответственно;

$R_{p0,2}^{T_h}$ и $R_{p0,2}^T$ – минимальные значения предела текучести при температуре испытаний и расчетной температуре.

Верхний предел P_h не должен превышать величины, при которой в испытываемом изделии возникнут напряжения сжатия, равные $1,35\sigma^{T_h}$, а сумма общих напряжений сжатия и общих изгибных напряжений достигнет $1,7\sigma^{T_h}$.

Для элементов, нагружаемых внешним давлением, должно также выполняться условие

$$P_h \leq 1,25P,$$

где P – допускаемое внешнее давление.

При проверке плотности давление гидравлических испытаний должно быть не ниже величины рабочего давления и не выше величины расчетного давления.

Температура гидравлических испытаний

Гидравлические испытания на прочность при изготовлении (или при монтаже) следует проводить при температуре металла испытываемого элемента не ниже 5° С, если в конструкторской (проектной) документации не указано иное.

Гидравлические испытания должны проводиться при температуре испытательной среды, при которой температура металла испытываемого оборудования не будет ниже минимальной допускаемой, определяемой в соответствии с требованиями ТЗ.

Допускаемая температура металла при гидравлических испытаниях в процессе эксплуатации устанавливается эксплуатирующей организацией на основе данных расчета на прочность, паспортов оборудования и числа циклов нагружения, зафиксированных при эксплуатации.

Время выдержки

Время выдержки под давлением P_h при гидравлических испытаниях должно быть не менее 10 минут. После выдержки давление снижается до $0,8 P_h$ и проводится (если предусмотрена такая возможность) осмотр оборудования в течение времени, необходимого для осмотра.

Измерение давления следует проводить двумя независимыми показывающими измерительными средствами, имеющими одинаковую точность и пределы измерения.

Повышать давление следует плавно с выдержками с целью проверки плотности соединений и обнаружения начинающихся деформаций. Число остановок и значения промежуточных давлений устанавливается предприятием-изготовителем или организацией-разработчиком оборудования.

При проведении испытаний погрешность измерений применяемых измерительных средств не должна превышать следующих значений, если в конструкторской документации не указано иное:

- ± 1,5 % – при измерении давлений;
- ± 1,5 % – при измерении температуры;
- ± 1,0 % – при измерении массы;
- ± 2,0 % – при измерении времени;
- ± 5,0 % – при измерении утечки.

Рассмотрим общие требования безопасности при проведении гидравлических испытаний, которые должны быть отражены в их программе и методике.

К ним относятся следующие требования:

1. К проведению испытаний допускается только персонал, имеющий соответствующую квалификацию и прошедший специальное (теоретическое, производственное) обучение по технике безопасности.

2. Лица, занятые в испытаниях, должны быть проинструктированы согласно инструкции по безопасности, действующей на предприятии – изготовителе, программе и методике проведения испытаний.

3. Персонал, проводящий испытания, должен:
- знать устройство испытательных стендов, на которых проводят испытания;
 - знать технологический процесс испытаний;
 - изучить устройство объекта испытаний;
 - пройти инструктаж по технике безопасности.
4. В испытаниях должны принимать участие одновременно не менее двух человек. Во время испытаний не допускается на испытательном участке находиться одному испытателю.
5. Испытания следует проводить с соблюдением правил, изложенных в утвержденной инструкции по технике безопасности при работе на испытательных стендах.
6. При применении в качестве испытательной взрывопожароопасные и легковоспламеняющиеся среды необходимо соблюдать требования пожарной безопасности. При применении в качестве испытательной среды керосина необходимо учитывать требование по увеличению зоны безопасности нахождения персонала.
7. Заглушки, применяемые при испытаниях (если таковые необходимы), должны обеспечивать прочность и плотность и быть рассчитаны на давление испытаний.
8. Расположение испытательной площадки должно гарантировать безопасность персонала, не участвующего в испытании.
9. При испытаниях не допускаются механические воздействия на объекты, трубопроводы и арматуру, находящиеся под давлением.
10. В процессе повышения давления во внутренней полости стенда до установленной величины персонал должен находиться на безопасном расстоянии, указанном в инструкции по технике безопасности при работе на испытательном стенде.
11. В любом случае, если испытательной средой является жидкость, воздух из всех внутренних полостей должен быть удален.
12. При давлении испытательной среды в корпусе стенда выше номинального недопустимо нахождение персонала в опасной зоне. Границы опасной зоны оговаривают в инструкции по технике безопасности при работе на испытательном стенде.
13. Все работы, связанные с устранением обнаруженных дефектов, проводятся только при отсутствии давления испытательной среды в гидравлической системе и напряжения в электрических цепях электрооборудования.
14. При проведении испытания категорически запрещается:
- лицам, не участвующим в проведении испытаний, находиться на испытательных площадках;
 - проводить испытания при неполном количестве крепежных деталей (болты, шпильки, гайки), а также их неполной затяжке;

- повышать давление выше значений, указанных в технических условиях и программе и методике испытаний;
- перегибать шланги, подводящие испытательную среду к измерительным средствам;
- использовать дополнительные рычаги при ручном управлении арматурой и применять гаечные ключи, размер которых больше размера крепежных деталей;
- проводить во время испытаний на испытательном стенде какие-либо работы (ремонтные и т.д.), не предусмотренные программой испытаний;

15. Испытания должны быть немедленно прекращены в следующих случаях:

- повышении давления в системе испытательного стенда выше значений, указанных в конструкторской документации (технических условиях, программе испытаний);
- падении давления, не связанном с технологическим процессом проведения испытаний;
- появлении ударов, шумов, стуков;
- обнаружении предельных состояний трубопроводов или оборудования, в том числе:
 - а) трещин или выпучин;
 - б) потения материала корпусных деталей и сварных швов;
 - в) утечки через подвижные (сальник, сильфон) и неподвижные (прокладочные и т.п.) соединения;
 - г) неисправности измерительных средств.

После завершения гидравлических испытаний в обязательном порядке составляется протокол, включающий следующие данные:

- наименование испытанной системы или оборудования;
- срок эксплуатации объекта на момент проведения испытаний (для испытаний при техническом освидетельствовании);
- значения расчетного (рабочего) давления и расчетной температуры;
- значения давления испытаний и минимальной температуры металла элементов при испытаниях (последнее – только для испытаний на стадии эксплуатации);
- сведения об испытательной среде;
- время выдержки под давлением;
- номер рабочей (производственной) программы гидравлических испытаний;
- результаты испытаний.

В паспорте оборудования или в свидетельстве об изготовлении деталей или сборочных единиц должна быть сделана запись о результатах гидравлических испытаний со ссылкой на протокол.

Результаты гидравлических испытаний оцениваются следующим образом.

Оборудование считается выдержавшим гидравлические испытания, если в процессе испытаний и при осмотре не обнаружены течи испытательной среды, разрушения и разрывы металла, при этом значение давления не выходило за установленные в программе пределы, а после испытаний не выявлены видимые остаточные деформации металла. Материал корпусных деталей и сварных швов считают плотным, если при испытании водой или керосином не обнаружено утечек или «потения». При манометрическом методе контроля критерием того, что оборудование выдержало испытания, является отсутствие падения давления в рабочей камере в процессе выдержки при установившемся давлении.

При наличии течи в разъемных соединениях необходимо переуплотнить соединение и провести повторные испытания на плотность. Течь среды через технологические уплотнения, предназначенные для проведения гидравлических испытаний, не является признаком, свидетельствующим об отрицательных результатах испытаний.

При неудовлетворительных результатах гидравлических испытаний необходимость проведения повторных испытаний определяется организацией, проводившей испытания, и согласовывается с организацией-разработчиком.

Глава 7. Пример расчетной методики оценки характеристик испытательного стенда

Рассмотрим пример расчетной методики, позволяющей оценить основные размеры гипербарического стенда, описание которого приведено в главе 6.

Цель данной методики – выбор конструктивных размеров и материалов деталей стенда, которые, с определенным запасом прочности, обеспечат возможность создания внутри последнего заданного давления.

Расчетная схема стенда представлена на рисунке 7.1.

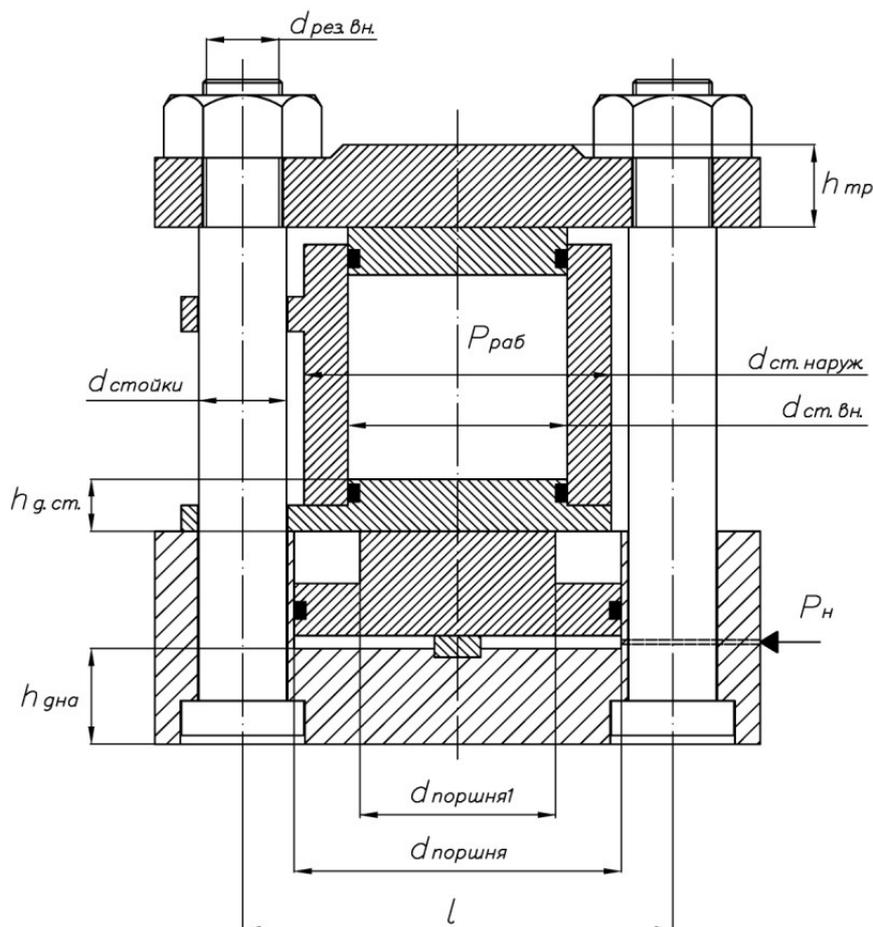


Рис. 7.1 Расчетная схема стенда

Исходными данными, которые определяют функциональные возможности стенда и его габаритные размеры, являются внутренний диаметр $d_{ст.вн.}$ рабочей камеры стенда, максимальное давление $P_{раб}$, создаваемое в рабочей камере, и максимальное давление $P_{н}$, которое может создать выбранный гидравлический насос.

Для примера зададим эти величины следующим образом:

- $d_{ст.вн.} = 0,12$ м;
- $P_{раб} = 1200 \cdot 10^5$ Па;
- $P_{н} = 700 \cdot 10^5$ Па.

Рассчитаем минимальный диаметр стоек станда, обеспечивающий его работоспособность.

Для этого, исходя из конструктивных размеров камеры и создаваемого внутри ее давления, определим силу F_{max} , действующую на стойки при максимальном давлении $P_{раб}$.

Площадь поперечного сечения рабочей камеры

$$S_{ст.вн.} = \frac{\pi d_{ст.вн.}^2}{4} = 0,0144 \text{ м}^2.$$

Тогда

$$F_{max} = P_{раб} \cdot S_{ст.вн.} = 1200 \cdot 10^5 \cdot 0,0144 = 1728000 \text{ Н} = 172800 \text{ кгс}.$$

В дальнейших расчетах по умолчанию сила будет выражена в кгс, длина – в см, а площадь – в см².

Так как стоек у станда две, на каждую из них будет действовать сила

$$F_{стойки} = F_{max} / 2 = 86400 \text{ кгс}.$$

В качестве материала для изготовления стоек выберем сталь 45. Для нее $\sigma_{в} = 6100 \text{ кгс/см}^2$, а $\sigma_{т} = 3600 \text{ кгс/см}^2$.

Примем допустимое напряжение $\sigma_{доп} = 0,6 \cdot \sigma_{т} = 2160 \text{ кгс/см}^2$.

Тогда

$$\sigma_{доп} = F_{стойки} / S_{стойки};$$

$$S_{стойки} = F_{стойки} / \sigma_{доп} = 86400 / 2160 = 40 \text{ см}^2.$$

Исходя из полученной площади $S_{стойки}$ поперечного сечения стойки определим ее диаметр:

$$d_{стойки} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{стойки}}{\pi}} \cong 7,1 \text{ см}.$$

Таким образом, мы определили минимальный диаметр изготовленной из стали 45 стойки, который выдержит заданную нагрузку. Так как стойки имеют резьбовое соединение, выбираемая резьба должна иметь внутренний диаметр $d_{рез.вн.}$ больше, чем рассчитанный минимальный диаметр стойки.

Определим наружный диаметр $d_{ст.наруж.}$ рабочей камеры станда. Выберем в качестве материала для ее изготовления сталь 35Х, для которой $\sigma_{в} = 8000 \text{ кгс/см}^2$, $\sigma_{т} = 6400 \text{ кгс/см}^2$.

Тогда $\sigma_{доп} = 0,6 \cdot \sigma_{т} = 3840 \text{ кгс/см}^2$.

Для вычисления наружного диаметра используем следующее аналитическое выражение [72]:

$$d_{ст.наруж.} = d_{ст.вн.} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{доп} + 0,4 \cdot P_{раб}}{\sigma_{доп} - 1,3 \cdot P_{раб}}}$$

При этом $P_{раб}$ выражается в кгс/см². Тогда

$$d_{ст.наруж.} = 12 \cdot \sqrt{\frac{3840 + 0,4 \cdot 1200}{3840 - 1,3 \cdot 1200}} \cong 16,5 \text{ см}.$$

Следовательно, для того, чтобы выдержать создаваемое рабочее давление, нам необходима прочная камера с толщиной стенки минимум 2,25 см, изготовленная из стали марки 35Х.

Определим диаметр поршня $d_{\text{поршня}}$.

Понятно, что

$$P_{\text{раб}} \cdot d_{\text{ст.вн.}}^2 = P_{\text{н}} \cdot d_{\text{поршня}}^2$$

Отсюда ($P_{\text{раб}}$ и $P_{\text{н}}$ выражены в кгс/см²)

$$d_{\text{поршня}} = \sqrt{\frac{P_{\text{раб}} \cdot d_{\text{ст.вн.}}^2}{P_{\text{н}}}} = \sqrt{\frac{1200 \cdot 12^2}{700}} \cong 16 \text{ см.}$$

Вычислим толщину дна $h_{\text{дна}}$, способную выдержать давление $P_{\text{н}}$ в полости под поршнем.

Для рассматриваемого нами случая, возникающие напряжения можно оценить в соответствии со следующим выражением [72]:

$$\sigma = \varphi \cdot P_{\text{н}} \cdot \frac{d_{\text{поршня}}^2}{4 \cdot h_{\text{дна}}^2},$$

где φ – эмпирический коэффициент, а $P_{\text{н}}$ выражается в кгс/см².

В качестве материала для изготовления основания примем сталь 45 с $\sigma_{\text{доп}} = 2160$ кгс/см².

Тогда

$$h_{\text{дна}} = \sqrt{\varphi \cdot P_{\text{н}} \cdot \frac{d_{\text{поршня}}^2}{4 \cdot \sigma_{\text{доп}}}} = \sqrt{0,43 \cdot 700 \cdot \frac{16^2}{4 \cdot 2160}} \cong 3 \text{ см.}$$

Вычислим толщину $h_{\text{д.ст.}}$ дна рабочей камеры. Для случая, изображенного на рис. 7.1, можно с запасом по прочности определить максимальные напряжения в соответствии со следующим выражением [72]:

$$\sigma_{\text{max}} = 0,334 \cdot (1,3 \cdot \ln \frac{d_{\text{ст.вн.}}}{d_{\text{поршня1}}} + 1) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{h_{\text{д.ст.}}^2}$$

Тогда

$$h_{\text{д.ст.}} = \sqrt{0,334 \cdot (1,3 \cdot \ln \frac{d_{\text{ст.вн.}}}{d_{\text{поршня1}}} + 1) \cdot \frac{F_{\text{max}}}{\sigma_{\text{max}}}}$$

В качестве материала выберем сталь 35Х.

Приравняем $\sigma_{\text{max}} = \sigma_{\text{доп}} = 3840$ кгс/см².

В этом случае

$$h_{\text{д.ст.}} = \sqrt{0,334 \cdot (1,3 \cdot \ln \frac{12}{10} + 1) \cdot \frac{172800}{3840}} \cong 4,3 \text{ см.}$$

Рассчитаем необходимую толщину $h_{\text{тр}}$ траверсы.

В соответствии со схемой нагрузки, необходимый момент сопротивления будет равен [72]:

$$W = \frac{F_{\text{max}} \cdot l}{8 \cdot \sigma_{\text{доп}}}$$

Примем

$$l = d_{\text{ст.наруж.}} + d_{\text{стойки}} + 1 = 16,5 + 7,1 + 1 = 24,6 \text{ см.}$$

Изготовим траверсу из стали 35Х. В этом случае

$$W = \frac{172800 \cdot 24,6}{8 \cdot 3840} \cong 138,4 \text{ см}^3.$$

В то же время для прямоугольного сечения траверсы [2]

$$W = \frac{b \cdot h_{\text{тр}}^2}{6},$$

где b – ширина траверсы. Примем данную ширину

$$b = d_{\text{ст.вн.}} + 2 = 12 + 2 = 14 \text{ см.}$$

Отсюда

$$h_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{6 \cdot W}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 138,4}{14}} \cong 7,7 \text{ см.}$$

Высота обеих поршней выбирается таким образом, чтобы обеспечить отсутствие перекоса при их движении, т.е. в соответствии с выражением

$$h_{\text{поршня}} \geq 0,8 d_{\text{поршня}}.$$

В случае монолитного исполнения поршней назначенной из приведенного условия высоты, их прочность будет обеспечена с большим расчетным запасом.

Таким образом, с использованием представленной методики можно осуществить выбор конструктивных размеров и материалов деталей стенда, которые способны обеспечить возможность создания внутри рабочей камеры последнего заданного давления.

Заключение

Очевидно, что решение одной из актуальных задач современности – освоения Мирового океана – невозможно без создания разнообразных подводных технических устройств и связанного с этим развития подводных технологий. Роли сборки и испытаний в этих процессах будут оставаться значительными независимо от общего уровня развития техники. При этом, ввиду значительной стоимости и сложности натуральных полигонных испытаний, в будущем предпочтение будет чаще отдаваться стендовым и лабораторным испытаниям, а также, учитывая стремительное развитие методов компьютерного моделирования, испытаниям с использованием моделей.

К сожалению, на сегодняшний день в России и за рубежом практически отсутствуют публикации, отражающие опыт отработки и испытаний новых образцов подводной техники. Поэтому автор видел своей задачей в какой-то мере поспособствовать заполнению данного пробела в технической литературе и дать возможность студентам, а также аспирантам, работающим в сфере исследования и проектирования специальных технических средств освоения Мирового океана, в общих чертах ознакомиться с этой важной проблемой.

**Терминология, используемая в системе испытаний
(по ГОСТ 16504-81 «Испытания и контроль качества продукции.
Основные термины и определения»)**

Испытания – экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий.

Примечание: экспериментальное определение характеристик свойств объекта при испытаниях может проводиться путем использования измерений, анализов, диагностирования, органолептических методов, путем регистрации определенных событий при испытаниях (отказы, повреждения) и т.д.

Характеристики свойств объекта при испытаниях могут оцениваться, если задачей испытаний является получение количественных или качественных оценок, а могут контролироваться, если задачей испытаний является только установление соответствия характеристик объекта заданным требованиям. В этом случае испытания сводятся к контролю. Поэтому ряд видов испытаний являются контрольными, в процессе которых решается задача контроля.

Важнейшим признаком любых испытаний является принятие на основе их результатов определенных решений.

Другим признаком испытаний является задание определенных условий испытаний (реальных или модулируемых), под которыми понимается совокупность воздействий на объект и режимов функционирования объекта.

Определение характеристик объекта при испытаниях может производиться как при функционировании объекта, так и при отсутствии.

Условия испытаний – совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях.

Нормальные условия испытаний – условия испытаний, установленные нормативно-технической документацией (НТД) на данный вид продукции.

Вид испытаний – классификационная группировка испытаний по определенному признаку.

Категория испытаний – вид испытаний, характеризующийся организационным признаком их проведения и принятием решений по результатам оценки объекта в целом.

Объект испытаний – продукция, подвергаемая испытаниям.

Примечание: главным признаком объекта испытаний является то, что по результатам его испытаний принимается то или другое решение по этому объекту – о его годности или забраковании, о возможности предъявления на следующие испытания, о возможности серийного выпуска и другие.

В зависимости от вида продукции и программы испытаний объектом испытаний может являться единичное изделие или партия изделий, подвергаемая сплошному или выборочному контролю, отдельный образец или партия продукции, от которой берется оговоренная НТД проба.

Объектом испытаний может быть макет или модель изделия и решение по результатам испытаний может относиться непосредственно к макету или модели. Однако если при испытании какого-либо изделия некоторые элементы его приходится для испытаний заменить моделями или отдельные характеристики изделия определять на моделях, то объектом испытаний остается само изделие, оценку характеристик которого получают на основе испытаний модели.

Образец для испытаний – продукция или ее часть, или проба, непосредственно подвергаемые эксперименту при испытаниях.

Опытный образец – образец продукции, изготовленный по вновь разработанной рабочей документации для проверки путем испытаний соответствия его заданным техническим требованиям с целью принятия решения о возможности постановки на производство и (или) использования по назначению.

Модель для испытаний – изделие, процесс, явление, математическая модель, находящиеся в определенном соответствии с объектом испытаний и (или) воздействиями на него и способные замещать их в процессе испытаний.

Макет для испытаний – изделие, представляющее упрощенное воспроизведение объекта испытаний или его части и предназначенное для испытаний.

Метод испытаний – правила применения определенных принципов и средств испытаний.

Объем испытаний – характеристика испытаний, определяемая количеством объектов и видов испытаний, а также суммарной продолжительностью испытаний.

Программа испытаний – организационно-методический документ, обязательный к выполнению, устанавливающий объект и цели испытаний, виды, последовательность и объем проводимых экспериментов, порядок, условия, место и сроки проведения испытаний, обеспечение и отчетность по ним, а также ответственность за обеспечение и проведение испытаний.

Примечание: программа испытаний должна содержать методики испытаний или ссылки на них, если эти методики оформлены как самостоятельные документы.

Методика испытаний – организационно-методический документ, обязательный к выполнению, включающий метод испытаний, средства и условия испытаний, отбор проб, алгоритмы выполнения операций по определению одной или нескольких взаимосвязанных характеристик свойств объекта, формы представления данных и оценивания точности, достоверности результатов, требования техники безопасности и охраны окружающей среды.

Примечание: методика испытаний, определяющая по существу технологический процесс их проведения, может быть оформлена в самостоятельном документе или в программе испытаний, или в нормативно-техническом документе на продукцию (стандарты, технические условия). Методика испытаний должна быть аттестована.

Аттестация методики испытаний – определение обеспечиваемых методикой значений показателей точности, достоверности и (или) воспроизводимости результатов испытаний и их соответствия заданным требованиям.

Средство испытаний – техническое устройство, вещество и (или) материал для проведения испытаний.

Испытательное оборудование – средство испытаний, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения условий испытаний.

Аттестация испытательного оборудования – определение нормированных точностных характеристик испытательного оборудования, их соответствия требованиям нормативно-технической документации и установление пригодности этого оборудования к эксплуатации.

Система испытания – совокупность средств испытаний, исполнителей и определенных объектов испытаний, взаимодействующих по правилам, установленным соответствующей нормативной документацией.

Примечание: главным характерным признаком любой системы испытаний является наличие некоторой организованной совокупности исполнителей (организаций или отдельных лиц), располагающих необходимыми средствами испытаний и взаимодействующих с определенными объектами испытаний по установленным правилам.

Точность результатов испытаний – свойство испытаний, характеризующее близостью результатов испытаний к действительным значениям характеристик объекта, в определенных условиях испытаний.

Воспроизводимость результатов испытаний – характеристика результатов испытаний, определяемая близостью результатов повторных испытаний объекта.

Данные испытаний – регистрируемые при испытаниях значения характеристик свойств объекта и (или) условий испытаний, наработок, а также других параметров, являющихся исходными для последующей обработки.

Результат испытаний – оценка характеристик свойств объекта, установления соответствия объекта заданным требованиям по данным испытаний, результаты анализа качества функционирования объекта в процессе испытаний.

Протокол испытаний – документ, содержащий необходимые сведения об объекте испытаний, применяемых методах, средствах и условиях испытаний, результаты испытаний, а также заключение по результатам испытаний, оформленный в установленном порядке.

Испытательный полигон – территория и испытательные сооружения на ней, оснащенные средствами испытаний и обеспечивающие испытания объекта в условиях, близких к условиям эксплуатации объекта.

Испытательная организация – организация, на которую в установленном порядке возложено проведение испытаний определенных видов продукции или проведение определенных видов испытаний.

Головная организация по государственным испытаниям продукции – организация, которая утверждена в принятом порядке для проведения на государственном уровне испытаний установленных важнейших видов продукции производственно-технического и культурно-бытового назначения.

Государственный испытательный центр – специализированное подразделение головной организации по государственным испытаниям, предназначенное для проведения государственных испытаний установленных важнейших видов продукции производственно-технического и культурно-бытового назначения.

Республиканский (региональный) испытательный центр – организация, утвержденная в принятом порядке для проведения определенных категорий испытаний закрепленных видов продукции, выпускаемой и (или) разрабатываемой предприятиями и организациями республики (региона) независимо от их ведомственной подчиненности.

Ведомственный испытательный центр – организация, на которую министерством или ведомством возложено проведение определенных категорий испытаний закрепленных видов продукции, выпускаемой и (или) разрабатываемой предприятиями и организациями данного министерства или ведомства.

Испытательное подразделение – подразделение организации, на которое руководством последней возложено проведение испытаний для своих нужд.

Базовое испытательное подразделение головной организации – подразделение, назначенное в принятом порядке для проведения испытаний определенных видов продукции или видов испытаний из числа закрепленных за головной организацией по государственным испытаниям.

Исследовательские испытания – испытания, проводимые для изучения определенных характеристик свойств объекта.

Примечание: исследовательские испытания проводятся с целью:

- определения или оценки показателей качества функционирования испытуемого объекта в определенных условиях его применения;
- выбора наилучших режимов применения объекта или наилучших характеристик свойств объекта;
- сравнения множества вариантов реализации объекта при проектировании и аттестации;
- построения математической модели функционирования объекта (оценки параметров математической модели);

- отбора существенных факторов, влияющих на показатели качества функционирования объекта;

- выбора вида математической модели объекта (среди заданного множества вариантов).

Контрольные испытания – испытания, проводимые для контроля качества объекта.

Сравнительные испытания – испытания аналогичных по характеристикам или одинаковых объектов, проводимые в идентичных условиях для сравнения характеристик их свойств.

Определительные испытания – испытания, проводимые для определения значения характеристик объекта с заданными значениями показателей точности и (или) достоверности.

Государственные испытания – испытания установленных важнейших видов продукции, проводимые головной организацией по государственным испытаниям, или приемочные испытания, проводимые государственной комиссией или испытательной организацией, которой предоставлено право их проведения.

Межведомственные испытания – испытания продукции, проводимые комиссией из представителей нескольких заинтересованных министерств и (или) ведомств, или приемочные испытания установленных видов продукции для приемки составных частей объекта, разрабатываемого совместно несколькими ведомствами.

Ведомственные испытания – испытания, проводимые комиссией из представителей заинтересованного министерства или ведомства.

Доводочные испытания (Недопустимо: Конструктивные испытания) – исследовательские испытания, проводимые при разработке продукции с целью оценки влияния вносимых в нее изменений для достижения заданных значений показателей ее качества.

Предварительные испытания – контрольные испытания опытных образцов и (или) опытных партий продукции с целью определения возможности их предъявления на приемочные испытания.

Приемочные испытания – контрольные испытания опытных образцов, опытных партий продукции или изделий единичного производства, проводимые соответственно с целью решения вопроса о целесообразности постановки этой продукции на производство и (или) использования по назначению.

Примечание: приемочные испытания опытных образцов или партий продукции проводятся для решения вопроса о целесообразности постановки этой продукции на производство, а приемочные испытания изделий единичного производства проводятся для решения вопроса о целесообразности передачи этих изделий в эксплуатацию (ГОСТ 15.001-73).

Квалификационные испытания – контрольные испытания установочной серии или первой промышленной партии, проводимые с целью

оценки готовности предприятия к выпуску продукции данного типа в заданном объеме.

Предъявительские испытания – контрольные испытания продукции, проводимые службой технического контроля предприятия-изготовителя перед предъявлением ее для приемки представителем заказчика, потребителя или других органов приемки.

Приемосдаточные испытания – контрольные испытания продукции при приемочном контроле.

Примечание: приемосдаточные испытания, как правило, проводятся изготовителем продукции. Если на предприятии-изготовителе имеется представитель заказчика, приемосдаточные испытания проводятся им в присутствии представителя изготовителя.

Периодические испытания – контрольные испытания выпускаемой продукции, проводимые в объемах и в сроки, установленные нормативно-технической документацией, с целью контроля стабильности качества продукции и возможности продолжения ее выпуска.

Инспекционные испытания – контрольные испытания установленных видов выпускаемой продукции, проводимые в выборочном порядке с целью контроля стабильности качества продукции специально уполномоченными организациями.

Типовые испытания (Недопустимо: Проверочные испытания) – контрольные испытания выпускаемой продукции, проводимые с целью оценки эффективности и целесообразности вносимых изменений в конструкцию, рецептуру или технологический процесс.

Аттестационные испытания – испытания, проводимые для оценки уровня качества продукции при ее аттестации по категориям качества.

Сертификационные испытания – контрольные испытания продукции, проводимые с целью установления соответствия характеристик ее свойств национальным и (или) международным нормативно-техническим документам.

Лабораторные испытания – испытания объекта, проводимые в лабораторных условиях.

Стендовые испытания – испытания объекта, проводимые на испытательном оборудовании.

Полигонные испытания – испытания объекта, проводимые на испытательном полигоне.

Натурные испытания – испытания объекта в условиях, соответствующих условиям его использования по прямому назначению с непосредственным оцениванием или контролем определяемых характеристик свойств объекта.

Примечание: натурные испытания реализуются в случае выполнения трех основных условий.

1. Испытаниям подвергается непосредственно изготовленная продукция (т.е. объект испытаний) без применения моделей изделия или его составных частей.
2. Испытания проводятся в условиях и при воздействиях на продукцию, соответствующих условиям и воздействиям использования по целевому назначению.
3. Определяемые характеристики свойств объекта испытаний измеряются непосредственно и при этом не используются аналитические зависимости, отражающие физическую структуру объекта испытаний и его составных частей. Допускается использование математического аппарата статистической обработки экспериментальных данных.

Испытания с использованием моделей

Примечание: испытания с использованием моделей включают проведение расчетов на математических или физико-математических моделях объекта испытаний и (или) воздействий на него в сочетании с натурными испытаниями объекта и его составных частей (опытно-теоретический метод испытаний), а также применение физической модели объекта испытаний или его составных частей. Данные натурных испытаний необходимы в качестве исходных данных для моделирования, а также используются для проверки правильности функционирования объекта испытаний (правильности стыковки составных частей объекта, способности объекта выполнять задачи, для решения которых он предназначен, и т.д.).

Эксплуатационные испытания – испытания объекта, проводимые при эксплуатации.

Примечание: одним из основных видов эксплуатационных испытаний является опытная эксплуатация. Кроме того, может проводиться подконтрольная эксплуатация, которая в некоторой степени условно может быть отнесена также к эксплуатационным испытаниям. Подконтрольная эксплуатация представляет собой естественную эксплуатацию, ход и результаты которой наблюдаются персоналом, специально предназначенным и подготовленным для этой цели (дополнительным или штатным) и руководствующимся документацией, разработанной также специально для сбора, учета и первичной обработки информации, источником которой служит подконтрольная эксплуатация.

Нормальные испытания – испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимого объема информации о характеристиках свойств объекта в такой же интервал времени, как и в предусмотренных условиях эксплуатации.

Ускоренные испытания – испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимой информации о характеристиках свойств объекта в более короткий срок, чем при нормальных испытаниях.

Сокращенные испытания – испытания, проводимые по сокращенной программе.

Неразрушающие испытания – испытания с применением неразрушающих методов контроля.

Разрушающие испытания – испытания с применением разрушающих методов контроля.

Испытания на прочность – испытания, проводимые для определения значений воздействующих факторов, вызывающих выход значений характеристик свойств объекта за установленные пределы или его разрушение.

Испытания на устойчивость – испытания, проводимые для контроля способности изделия выполнять свои функции и сохранять значения параметров в пределах установленных норм во время действия на него определенных факторов.

Функциональные испытания – испытания, проводимые с целью определения значений показателей назначения объекта.

Испытания на надежность – испытания, проводимые для определения показателей надежности в заданных условиях.

Граничные испытания – испытания, проводимые для определения зависимостей между предельно допустимыми значениями параметров объекта и режимом эксплуатации.

Технологические испытания – испытания, проводимые при изготовлении продукции с целью оценки ее технологичности.

Технический контроль – проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Примечание: сущность всякого контроля сводится к осуществлению двух основных этапов:

1. Получение информации о фактическом состоянии некоторого объекта, о признаках и показателях его свойств. Эту информацию можно назвать первичной.
2. Сопоставление первичной информации с заранее установленными требованиями, нормами, критериями, т.е. обнаружение соответствия или несоответствия фактических данных требуемым (ожидаемым). Информацию о рассогласовании (расхождении) фактических и требуемых данных можно называть вторичной.

Объектом, данные о состоянии и (или) свойствах которого подлежат при контроле сопоставлению с установленными требованиями, может быть продукция или процесс.

В ряде случаев граница во времени между первым и вторым этапами контроля неразличима. В таких случаях первый этап может быть выражен нечетко или может практически не наблюдаться. Характерным примером является контроль размера калибром, сводящийся к операции сопоставления фактического и предельно допустимого значений размера.

Далее вторичная информация используется для выработки соответствующих управляющих воздействий на объект, подвергавшийся контролю. В этом смысле всякий контроль всегда активен. Необходимо отметить в связи с этим, что всякий контроль, кроме того, всегда в той или иной степени должен быть профилактическим, поскольку вторичная информация может использоваться для совершенствования разработки, производства и эксплуатации продукции, для повышения ее качества и т.д.

Однако, принятие решений на основе анализа вторичной информации, выработка соответствующих управляющих воздействий уже не является частью контроля. Это следующий этап управления, основанный на результатах контроля – неотъемлемой и существенной части всякого управления. При техническом контроле первичная информация сопоставляется с техническими требованиями, записанными в нормативной документации, с признаками контрольного образца, с данными, зафиксированными при помощи калибра и т.д.

На стадии разработки продукции технический контроль заключается, например, в проверке соответствия опытного образца и (или) разработанной технической документации правилам оформления и техническому заданию.

На стадии изготовления технический контроль охватывает качество, комплектность, упаковку, маркировку и количество предъявляемой продукции, ход (состояние) производственных процессов.

На стадии эксплуатации продукции технический контроль заключается, например, в проверке соблюдения требований эксплуатационной и ремонтной документации.

Контроль качества продукции – контроль количественных и (или) качественных характеристик свойств продукции.

Оценивание качества продукции – определение значений характеристик продукции с указанием точности и (или) достоверности.

Объект технического контроля – подвергаемая контролю продукция, процессы ее создания, применения, транспортирования, хранения, технического обслуживания и ремонта, а также соответствующая техническая документация.

Примечание: объектами технического контроля являются предметы труда (например, продукция основного и вспомогательного производства в виде изделий, материалов, технической документации и т.п.) средства труда (например, оборудование промышленных предприятий) и технологические процессы.

Метод контроля – правила применения определенных принципов и средств контроля.

Средство контроля – техническое устройство, вещество и (или) материал для проведения контроля.

Контролируемый признак – характеристика объекта, подвергаемая контролю.

Контрольная точка – место расположения первичного источника информации о контролируемом параметре объекта контроля.

Примечание: контрольная точка объекта контроля может являться частью (элементом) контролируемого предмета или находиться на некотором удалении от него (например, контроль содержания окиси углерода в выхлопных газах по ее содержанию в атмосфере вне трубы). В контрольной точке обычно размещают датчик, начало вывода от электрической схемы к измерительному прибору и т.п. Контрольной точкой является установленное место отбора пробы вещества.

Контрольный образец – единица продукции или ее часть, или проба, утвержденные в установленном порядке, характеристики которых приняты за основу при изготовлении и контроле такой же продукции.

Система контроля – совокупность средств контроля, исполнителей и определенных объектов контроля, взаимодействующих по правилам, установленным соответствующей нормативной документацией.

Автоматизированная система контроля – система контроля, обеспечивающая проведение контроля с частичным непосредственным участием человека.

Автоматическая система контроля – система контроля, обеспечивающая проведение контроля без непосредственного участия человека.

Приемочный контроль – контроль продукции, по результатам которого принимается решение о ее пригодности к поставкам и (или) использованию.

Измерительный контроль – контроль, осуществляемый с применением средств измерений.

Регистрационный контроль – контроль, осуществляемый регистрацией значений контролируемых параметров продукции или процессов.

Органолептический контроль – контроль, при котором первичная информация воспринимается органами чувств.

Примечание: органолептический контроль основывается на восприятиях органами чувств (зрения, слуха, обоняния, вкуса и осязания) такой информации, которая не представлена в численном выражении.

Решение относительно объекта контроля принимается в таком случае только по результатам анализа чувственных восприятий (например, оценка цветовых оттенков, оценка запаха и т.п.).

При органолептическом контроле могут применяться средства контроля, не являющиеся измерительными, но увеличивающие разрешающую способность или восприимчивость органов чувств.

Визуальный контроль – органолептический контроль, осуществляемый органами зрения.

Технический осмотр – контроль, осуществляемый в основном при помощи органов чувств и, в случае необходимости, средств контроля, номенклатура которых установлена соответствующей документацией.

**Содержание программы испытаний
(по ГОСТ РВ 15.211 «Система разработки и постановки продукции на
производство. Военная техника. Порядок разработки программ и
методик испытаний опытных образцов изделий. Основные положения»)**

Содержание разделов программы испытаний определяют в зависимости от вида опытного (опытного ремонтного) образца изделия и цели испытаний.

1. В разделе «Объект испытаний, его состав и назначение» указывают:

- полное наименование опытного (опытного ремонтного) образца изделия, его индекс и обозначение по основному конструкторскому документу;

- число испытываемых объектов и порядок их отбора;
- комплектность испытываемых объектов;
- перечень составных частей и (или) комплектующих изделий межотраслевого применения, замена которых в процессе испытаний предусмотрена (разрешена) документацией на опытный (опытный ремонтный) образец изделия.

2. В разделе «Цель и задачи испытаний» указывают конкретные цели и задачи, которые должны быть достигнуты и решены в процессе испытаний.

3. В разделе «Общие положения» указывают:

- перечень документов, на основании которых проводят испытания;
- место и продолжительность проведения испытаний;
- организации (предприятия), участвующие в испытаниях;
- обязательность приемки представителем заказчика опытного (опытного ремонтного) образца изделия перед проведением испытаний;

- перечень ранее проведенных испытаний и документов, подтверждающих степень отработки опытного (опытного ремонтного) образца изделия;

- перечень представляемых на испытания документов, откорректированных по результатам ранее проведенных испытаний и характеризующих степень отработки опытного (опытного ремонтного) образца изделия;

- порядок внесения изменений в программу испытаний.

4. В разделе «Объем испытаний (количество объектов, поставляемых на испытания)» указывают:

- количество объектов, поставляемых на испытания;
- перечень этапов испытаний и проверок, а также количественные и качественные характеристики, подлежащие оценке, со ссылкой на соответствующую методику;

- порядок и последовательность подтверждения требований ТТЗ (ТЗ);

- последовательность проведения и режимы испытаний;

- требования по объему измерений, достаточному для статистической надежности оценок определяемых характеристик (показателей);

- требования к наработке опытных (опытных ремонтных) образцов изделия в процессе испытаний. При проведении испытаний на нескольких экземплярах (партии) опытных (опытных ремонтных) образцов изделий однократного применения должно быть указано их распределение по видам испытаний, а для изделий многократного применения – число циклов функционирования опытного (опытного ремонтного) образца изделия на каждом виде и режиме испытаний (испытательная циклограмма);

- требования по испытаниям программных средств по ГОСТ РВ 51719;

- перечень испытаний, которые из-за длительных сроков проводят по специальным программам;

- перечень работ, проводимых после завершения испытаний, требования к их объему и порядку проведения, в том числе:

- а) осмотр (без разборки или с разборкой) и описание состояния объекта испытаний;

- б) фотографирование или видеосъемка, при необходимости, объекта испытаний и (или) его отдельных узлов, деталей, мест коррозии, а также характерных повреждений и поломок.

5. В разделе «Условия, режимы, порядок, место проведения, виды и этапы испытаний» указывают:

- условия проведения испытаний (характеристика района (места) проведения испытаний, время года и суток, температура окружающей среды, температурный градиент, давление и влажность окружающей среды, ускорение и т.д.) с оценкой, при необходимости, степени их приближения к реальным условиям эксплуатации, заданным в ТТЗ, ТЗ и действующих нормативных документах, а также имеющиеся ограничения и допустимые отклонения условий испытаний от заданных;

- условия начала и завершения отдельных этапов испытаний и категории испытаний в целом;

- имеющиеся ограничения в условиях проведения испытаний;

- условия перерыва (прекращения) испытаний;

- условия хранения объекта испытаний в течение проведения испытаний;

- требования к контролю технического состояния и техническому обслуживанию опытного (опытного ремонтного) образца изделия в процессе испытаний и периодичность его проведения;

- меры по обеспечению безопасности и безаварийности проведения испытаний;

- порядок взаимодействия организаций (предприятий), участвующих в испытаниях;

- порядок привлечения экспертов для исследования возможных повреждений объекта испытаний в процессе проведения испытаний;

- требования к составу и квалификации персонала, проводящего испытания, и персонала, привлекаемого к обеспечению функционирования

объекта испытаний в качестве штатного расчета, и порядок его допуска к испытаниям, при необходимости.

Меры по обеспечению безопасности и безаварийности проведения испытаний, а также по нейтрализации вредных воздействий, рекомендуется оформлять в виде отдельного подраздела «Меры по безопасности испытаний», в котором указывают основные требования по обеспечению безопасности работы обслуживающего персонала, по защите окружающей среды в соответствии с требованиями конструкторской документации, стандартов системы безопасности труда и других нормативных документов по технике безопасности и по защите окружающей среды.

6. В разделе «Материально-техническое обеспечение испытаний» указывают конкретные виды материально-технического обеспечения с распределением задач и обязанностей по видам обеспечения организаций (предприятий), участвующих в испытаниях, приводят состав используемых ресурсов (включая состав привлекаемого персонала, расчетов, экипажей и т.п.), а также устанавливают сроки готовности материально-технического обеспечения.

В разделе могут быть выделены подразделы: материально-техническое, методическое, математическое, программное и бытовое обеспечение; обеспечение скрытности и секретности; обеспечение документацией и другие.

В зависимости от степени сложности опытного (опытного ремонтного) образца изделия в обоснованных случаях данный раздел может быть представлен несколькими разделами по видам обеспечения испытаний или вынесен в приложение к программе испытаний.

7. В разделе «Метрологическое обеспечение испытаний» приводят перечень требований и мероприятий в соответствии с ГОСТ РВ 8.570 с распределением задач и ответственности организаций (предприятий), участвующих в испытаниях, за выполнение соответствующих мероприятий, включая оценку готовности метрологического обеспечения испытаний в соответствии с ГОСТ РВ 1.1.

8. В разделе «Обеспечение защиты государственной тайны» указывают мероприятия по обеспечению защиты секретных сведений при проведении испытаний.

В раздел входят подразделы:

- обеспечение режима секретности;
- защита информации от иностранных технических разведок и от ее утечки по техническим каналам.

В подразделе «Обеспечение режима секретности» указывают мероприятия по защите секретных сведений в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, ТТЗ, ТЗ, плана организации и обеспечения режима секретности при выполнении ОКР или раздела по организации и обеспечению режима секретности в другом планирующем документе по выполнению ОКР. Мероприятия должны охватывать все этапы испытаний, учитывать особенности конкретных видов их обеспечения,

условий и порядка проведения испытаний, передачи, обработки и хранения результатов испытаний и другой секретной информации, подготовки отчетной документации.

В подразделе «Защита информации от иностранных технических разведок и от ее утечки по техническим каналам» указывают мероприятия по защите информации от иностранных технических разведок и ее утечки по техническим каналам в соответствии с действующим положением и требованиями ГОСТ РВ 50859 и ГОСТ РВ 50934.

9. В разделе «Отчетность» указывают:

- перечень первичных учетных документов, которые должны вестись в процессе испытаний, и отчетных документов, которые должны быть оформлены по их завершению, с указанием организаций и предприятий, разрабатывающих, согласующих и утверждающих их, и сроки оформления этих документов;

- перечень рассылки отчетной документации;

- порядок, место и сроки хранения первичных учетных документов и других рабочих материалов испытаний (протоколы экспериментов, результаты расчетов, моделирования, экспертные заключения и т.д.).

К числу отчетных документов относятся акт и отчет о результатах испытаний, акт технического состояния опытного (опытного ремонтного) образца изделия после испытаний, первичные и другие материалы испытаний, акт на списание материальной части (при необходимости).

10. В разделе «Приложение» указывают перечень методик испытаний, математических и комплексных моделей, применяемых для оценки характеристик опытных (опытных ремонтных) образцов изделий.

11. Типовые программы испытаний вместо раздела «Объект испытаний» содержат вводную часть, которая не имеет заголовка и нумерации. Во вводной части указывают область распространения программы испытаний, особенности функционирования и испытаний данной группы опытных (опытных ремонтных) образцов изделий, возможные ограничения по применению типовой программы испытаний.

В разделе типовой программы «Объем испытаний» необходимо приводить типовой перечень проверок, подлежащих включению в программы испытаний конкретных изделий.

**Содержание методики испытаний
(по ГОСТ РВ 15.211 «Система разработки и постановки продукции на
производство. Военная техника. Порядок разработки программ и
методик испытаний опытных образцов изделий. Основные положения»)**

Содержание разделов методики испытаний определяют в зависимости от вида опытного (опытного ремонтного) образца изделия и проверяемой характеристики (свойства, показателя).

1. В разделе «Объект испытаний» указывают наименование опытного (опытного ремонтного) образца изделия, его индекс, состав объекта испытаний, а также особенности его функционирования, существенные для применения методики.

2. В разделе «Цель испытаний» указывают конечную цель проверки характеристики, сформулированную в наименовании методики.

3. В разделе «Общие положения» приводят:

- определение проверяемой характеристики, если она не определена в стандарте или другом нормативном документе, регламентирующем терминологию;

- метод испытаний;

- поясняющие сведения, относящиеся к объекту испытаний и особенностям его функционирования;

- порядок внесения изменений в методику испытаний.

4. В разделе «Оцениваемые характеристики и расчетные соотношения» приводят:

- перечень показателей, количественно выражающих оцениваемую характеристику;

- расчетные соотношения и формулы (математические модели), по которым рассчитывают оцениваемые показатели. Соотношения и формулы должны быть приведены в конечном виде (без выводов) с объяснением символов, обозначений и коэффициентов. При наличии качественной характеристики указывают метод ее оценки.

5. В разделе «Условия, режимы, порядок, место проведения, виды и этапы испытаний» указывают:

- условия проведения испытаний;

- продолжительность, периодичность, цикличность испытаний и последовательность воспроизведения внешних воздействий;

- требования по объему измерений, достаточному для статистической надежности оценок определяемых характеристик (показателей);

- требования по технике безопасности и квалификации обслуживающего персонала;

- особенности функционирования испытываемых объектов и привлекаемых к испытаниям средств, порядок их взаимодействия;

- объем регистрируемой информации и способы ее регистрации;
- формы и порядок учета статистических данных, в том числе подробная развернутая форма записи данных;
- методы контроля опытного (опытного ремонтного) образца изделия (внешний осмотр, проведение измерений и др.);
- последовательность выполнения операций при испытаниях и проверках с указанием контрольных точек, способов и количества измерений, используемых средств измерений и описанием выполняемых регулировок, операций с переключателями, схем расположения и включения приборов.

Если в процессе испытаний предусматривается использование метода моделирования, то должны быть указаны принцип моделирования, порядок применения результатов моделирования, принцип и метод проверки совместимости результатов моделирования с результатами натурных экспериментов.

6. В разделе «Обработка, анализ и оценка результатов испытаний» указывают:

- порядок применения статистических данных, накопленных до начала испытаний (при наличии);
- объем обрабатываемой информации;
- методы статистической обработки результатов испытаний, принятые в методике, и оценки достоверности полученных результатов при испытаниях;
- способы и средства обработки информации;
- требования к виду обработанной информации;
- требования к точности обработки информации;
- порядок и последовательность проведения анализа результатов, полученных на выходе системы обработки, а также экспресс-анализа;
- объем исходных данных, необходимых для оценки результатов испытаний (с заданной достоверностью и точностью);
- способ сравнения полученных данных с требованиями, заданными в программе испытаний, и с требованиями ТТЗ (ТЗ);
- критерии, при выполнении которых испытываемый объект считают выдержавшим испытания;
- критерии достаточности испытаний;
- критерии прекращения испытаний.

7. В разделе «Материально-техническое обеспечение испытаний» указывают:

- состав необходимых средств для различных видов обеспечения испытаний (включая испытательное оборудование) с указанием их наименований и обозначений;
- перечень необходимой конструкторской (ремонтной) документации и другой технической документации;
- необходимую квалификацию персонала, специалистов и

привлекаемых сил, проводящих испытания;

- перечень моделей, используемых для испытаний;
- перечень и количество материалов, в том числе расходных, необходимых для проведения испытаний;
- состав привлекаемых транспортных средств и, при необходимости, другие виды материально-технического обеспечения;
- порядок подготовки и использования материально-технических средств в процессе испытаний.

8. В разделе «Метрологическое обеспечение испытаний» приводят требования в соответствии с ГОСТ РВ 8.570.

9. В раздел «Обеспечение защиты государственной тайны» входят подразделы:

- обеспечение режима секретности;
- защита информации от иностранных технических разведок и от ее утечки по техническим каналам.

В подразделах указывают требования, порядок, способы и методы решения задач по обеспечению защиты информации от иностранных технических разведок и от ее утечки по техническим каналам в соответствии с действующим положением, требованиями программы испытаний и требованиями ГОСТ РВ 50859 и ГОСТ РВ 50934.

10. В разделе «Отчетность» приводят требования к объему сведений, подлежащих отражению в протоколе испытаний по данному пункту программы испытаний.

11. Типовые методики испытаний вместо раздела «Объект испытаний» содержат вводную часть, которая не имеет заголовка и нумерации. Во вводной части указывают область распространения типовой методики испытаний, особенности функционирования данной группы опытных (опытных ремонтных) образцов изделий, возможные ограничения по применению методики испытаний.

12. В случае оформления методики испытаний в виде единого документа «Программа и методика испытаний» в методике испытаний допускается исключать те разделы, которые дублируют аналогичные разделы (пункты) программы испытаний.

**Правила оформления программ и методик испытаний
(по ГОСТ РВ 15.211 «Система разработки и постановки продукции на
производство. Военная техника. Порядок разработки программ и
методик испытаний опытных образцов изделий. Основные положения»)**

1. Программы и методики испытаний выполняют машинописным способом или с помощью средств вычислительной техники или других средств информационных технологий и оформляют в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к текстовым конструкторским документам по ГОСТ 2.105, на листах формата А4 по ГОСТ 2.301 без рамки, основной надписи и дополнительных граф к ней.

2. Программы и методики испытаний программных средств оформляют в соответствии с требованиями ГОСТ 19.301.

3. Схемы, чертежи и таблицы выполняют на листах форматов, установленных в ГОСТ 2.301.

4. Номера листов (страниц) проставляют в верхней части листа (над текстом).

5. Программы и методики испытаний оформляют в виде отдельных брошюр или книг. При этом порядок их компоновки должен быть следующим:

- обложка (переплет);
- титульный лист (первый лист документа);
- содержание;
- основной текст документа;
- приложение.

6. Обложку применяют в документах, имеющих объем до 50 листов. При объеме более 50 листов документы переплетают.

7. На обложке (переплете) указывают наименование организации, выпустившей документ, наименование и год выпуска документа.

8. Наименование документа выполняют крупным шрифтом и включают в него полное наименование, обозначение опытного (опытного ремонтного) образца изделия и вид документа.

9. В наименование типовой программы испытаний включают заголовок, дающий общее определение группы однотипных изделий, на которые разрабатывается документ, и подзаголовок, указывающий, что данная программа является типовой.

10. В наименование типовой методики испытаний включают заголовок, дающий общее определение группы однотипных изделий, на которые разрабатывается документ, и подзаголовок, определяющий проверяемую характеристику и указывающий, что данная методика является типовой.

11. Подписи разработчиков программ и методик испытаний помещают на последнем листе основного текста документа. Визы должностных лиц, если они необходимы, помещают на поле подшивки этого листа.

12. При объеме документа более 200 листов или по решению разработчиков документа независимо от его объема программы и методики могут быть составлены в двух или более частях (книгах). При этом в конце содержания первой части (книги) документа указывают распределение материала (разделов) по частям (книгам).

13. По поручению разработчика документа отдельные части (книги) программ и методик испытаний могут быть разработаны соисполнителями, подписи которых помещают на последнем листе этой части (книги).

Содержание протокола первичной аттестации испытательного оборудования
(в соответствии с ГОСТ Р 8.568-97 «Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения»)

Протокол первичной аттестации испытательного оборудования должен содержать следующие данные:

1. Состав комиссии с указанием фамилии, должности, наименования предприятия (организации).

2. Основные сведения об испытательном оборудовании (наименование, тип, заводской (инвентарный) номер, наименование завода-изготовителя).

3. Проверяемые характеристики испытательного оборудования.

4. Условия проведения первичной аттестации: температура, влажность, освещенность и т.п.

5. Документы, используемые для первичной аттестации: программа и методика аттестации, стандарты, технические условия, эксплуатационные документы и т.п.

6. Характеристики средств измерений, используемых для проведения первичной аттестации испытательного оборудования:

- наименование:

- тип;

- заводской (инвентарный) номер;

- завод-изготовитель;

- сведения о поверке (калибровке).

Вместо содержания протокола по пп. 5 и 6 могут быть приложены соответствующие документы.

7. Результаты первичной аттестации:

7.1. Внешний осмотр (комплектность, отсутствие повреждений, функционирование узлов, агрегатов, наличие действующих документов на методики поверки (калибровки) встроенных или входящих в комплект средств измерений).

7.2. Значения характеристик испытательного оборудования, полученные при первичной аттестации.

8. Заключение комиссии о соответствии испытательного оборудования требованиям нормативных документов на испытательное оборудование и на методики испытаний продукции конкретных видов и возможности использования испытательного оборудования для их испытаний.

9. Рекомендации комиссии:

9.1. Перечень нормированных характеристик, которые определяют при периодической аттестации испытательного оборудования в процессе его эксплуатации.

9.2. Периодичность периодической аттестации испытательного оборудования в процессе его эксплуатации.

9.3. Дополнительные рекомендации комиссии (при необходимости).

**Содержание протокола периодической (повторной) аттестации
испытательного оборудования
(в соответствии с ГОСТ Р 8.568-97 «Государственная система
обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного
оборудования. Основные положения»)**

Протокол периодической (повторной) аттестации испытательного оборудования должен содержать следующие данные:

1. Основные сведения об испытательном оборудовании (наименование, тип, заводской (инвентарный) номер, наименование завода-изготовителя).

2. Проверяемые характеристики испытательного оборудования.

3. Условия проведения периодической (повторной) аттестации: температура, влажность, освещенность и т.п.

4. Результаты периодической (повторной) аттестации:

4.1. Внешний осмотр (отсутствие повреждений, функционирование узлов, агрегатов, наличие эксплуатационных документов на испытательное оборудование и документов, подтверждающих сведения о поверке (калибровке) встроенных или входящих в комплект средств измерений).

4.2. Характеристики средств измерений, используемых для проведения периодической (повторной) аттестации испытательного оборудования (наименование, тип, заводской (инвентарный) номер, наименование завода-изготовителя), и сведения об их поверке (калибровке).

4.3. Значения характеристик испытательного оборудования, полученные при предыдущей аттестации.

Вместо содержания протокола по пп. 4.2 и 4.3 могут быть приложены соответствующие документы.

4.4. Значения характеристик испытательного оборудования, полученные при периодической (повторной) аттестации.

5. Заключение о соответствии испытательного оборудования требованиям нормативных и эксплуатационных документов на испытательное оборудование и на методики испытаний продукции конкретных видов.

**Типичные составляющие погрешности измерений
(в соответствии с ГОСТ Р 8.563-96 «Государственная система
обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений»)**

1. Методические составляющие погрешности измерений

1.1 Неадекватность контролируемому объекту модели, параметры которой принимаются в качестве измеряемых величин.

1.2 Отклонения от принятых значений аргументов функции связывающей измеряемую величину с величиной на «входе» средства измерений (первичного измерительного преобразователя).

1.3 Отклонения от принятых значений разницы между значениями измеряемой величины на входе средства измерений и в точке отбора.

1.4 Погрешность из-за эффектов квантования.

1.5 Отличие алгоритма вычислений от функции, строго связывающей результаты наблюдений с измеряемой величиной.

1.6 Погрешности, возникающие при отборе и приготовлении проб.

1.7 Погрешности, вызываемые мешающим влиянием факторов пробы (мешающие компоненты пробы, дисперсность, пористость и т.п.).

2. Инструментальные составляющие погрешности измерений

2.1 Основные погрешности и дополнительные статические погрешности средств измерений, вызываемые медленно меняющимися внешними влияющими величинами.

2.2 Погрешности, вызываемые ограниченной разрешающей способностью средств измерений.

2.3 Динамические погрешности средств измерений (погрешности, вызываемые инерционными свойствами средств измерений).

2.4 Погрешности, вызываемые взаимодействием средства измерений с объектом измерений и подключаемыми на его вход или выход средствами измерений.

2.5 Погрешности передачи измерительной информации.

3. Погрешности, вносимые оператором (субъективные погрешности)

3.1 Погрешности считывания значений измеряемой величины со шкал и диаграмм.

3.2 Погрешности обработки диаграмм без применения технических средств (при усреднении, суммировании измеренных значений и т.п.).

3.3 Погрешности, вызванные воздействием оператора на объект и средства измерений (искажения температурного поля, механические воздействия и т.п.).

Библиографический список

1. Беспалов Б. Л., Глейзер Л. А., Колесов И. М. и др. Технология машиностроения (специальная часть). – М.: Машиностроение, 1973.
2. Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Шнейдерович Р. М. Расчет на прочность деталей машин. Справочное пособие. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1966.
3. Болотин В. В. Ресурс машин и конструкций – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
4. Большая Советская Энциклопедия. 3-е изд. Т. 16. – М.: «Сов. энциклопедия», 1974. 616 с., илл. и карт.
5. Бюшгенс Г. С., Бедржицкий Е. Л. ЦАГИ – центр авиационной науки. – М.: Наука, 1993.
6. Валетов В. А., Мурашко В. А. Основы технологии приборостроения. / Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006 – 180 с.
7. ГОСТ 21495-76 Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения.
8. ГОСТ Р 22.2.04-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные аварии и катастрофы. Метрологическое обеспечение контроля состояния сложных технических систем. Основные положения и правила.
9. ГОСТ Р 8.568-97 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.
10. ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.
11. ГОСТ Р 8.563-96 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений.
12. ГОСТ 8.315-97 Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения.
13. ГОСТ 2.103-68 Единая система конструкторской документации. Стадии разработки.
14. ГОСТ 2.601-95 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.
15. ГОСТ 19.301-79 Единая система проектной документации. Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению.
16. ГОСТ 3.1120-83 Единая система технологической документации. Общие правила отражения и оформления требований безопасности труда в технологической документации.
17. ГОСТ 3.1119-83 Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на единичные технологические процессы.
18. ГОСТ 3.1121-84 Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые технологические процессы (операции).

19. ГОСТ 3.1102-81 Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов.

20. ГОСТ 3.1109-82 Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий

21. ГОСТ 3.1407-86 Единая система технологической документации. Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции), специализированные по методам сборки.

22. ГОСТ ИСО 8573-1-2005 Загрязнения и классы чистоты.

23. ГОСТ 9490-75 Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине.

24. ГОСТ Р 51672-2000 Метрологическое обеспечение испытаний продукции для целей подтверждения соответствия.

25. ГОСТ 15.001-73 Разработка и постановка продукции на производство. Основные положения.

26. ГОСТ 23887-79 Сборка. Термины и определения.

27. ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные понятия.

28. ГОСТ 19.201-78 Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению.

29. ГОСТ 14.004-83 Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий.

30. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения.

31. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений.

32. ГОСТ Р ИСО 5725-3-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений.

33. ГОСТ Р ИСО 5725-4-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 4. Основные методы определения правильности стандартного метода измерений.

34. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике.

35. *Ефимов О. И., Красильников А. В., Красильников Р. В., Соломянский В. Б.* Гидравлический стенд для испытаний глубоководных объектов Патент РФ на полезную модель № 116235. МПК G01N 3/10 – № 2011152329/28, заявл. 21.12.2011; опубл. 20.05.2012; Бюл. № 14.

36. Конспект лекций по дисциплине «Сборка машин» для студентов дневного и заочного отделений специальности 7.090202 / Сост: *Е. В. Мишура, Д. П. Шистко*. – Краматорск: ДГМА, 2008. – 203 с.

37. *Кыбальный М. В., Кудрявцев М. А.* О подводных промышленных роботах, предназначенных для работ на шельфе. Научно-технический сборник Подводное морское оружие. Вып. 12. – СПб.: ФГУП ЦНИИ «Гидроприбор», 2008.

38. *Маталин А. А.* Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с., ил.

39. *Мельников И. В.* Роль испытаний в оптимизации процесса проектирования изделий ракетно-космической техники / И. В. Мельников // Молодой ученый. – 2011. – № 2. Т.1. – с. 38-41.

40. *Меренов И. В., Смолин В. В.* Справочник водолаза. Вопросы и ответы. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1990, 400 с., ил.

41. МИ 2174-91 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация алгоритмов и программ обработки данных при измерениях. Основные положения.

42. МИ 1967-89 Государственная система обеспечения единства измерений. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения.

43. МИ 2304-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологический контроль и надзор, осуществляемые метрологическими службами юридических лиц.

44. МИ 2647-2001 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок аккредитации организаций на право аттестации испытательного оборудования, применяемого в интересах обороны и безопасности.

45. МИ 2552-99 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений».

46. МИ 1317-86 Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты измерений и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.

47. *Михайлов А. К., Ворошилов В. П.* Компрессорные машины: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 288 с.: ил.

48. Океанологические телеуправляемые аппараты и роботы. Сборник статей. / *Отв. ред. В. С. Ястребов*. – Л.: Судостроение. 1976. – 176 с.

49. ПБ 03-585-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов.

50. Подводная технология / *Коробков В. А., Левин В. С., Лукошков А. В., Серебrenицкий П. П.* – Л.: Судостроение, 1981. 240 с., ил. – (Техника освоения океана).

51. Порядок разработки и оформления технологических процессов сборки. Методические указания для курсового проекта по курсу «Технология машиностроения» для студентов по направлению 552900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств». / Сост. *Б. И. Коган.* – Кемерово: КузГТУ, 1998.

52. ПР 50.2.013-97 Правила по метрологии. Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право аттестации методик выполнения измерений и проведения метрологической экспертизы документов.

53. ПР 50.2.008-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок аккредитации головных и базовых организаций метрологической службы государственных органов управления Российской Федерации и объединений юридических лиц.

54. ПР 50.2.002-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм.

55. Проектирование технологических процессов сборки изделий автотракторостроения. Учебное пособие по выполнению технологической части дипломного проекта студентами специальностей: 190201 «Автомобиле – и тракторостроение», 140501 «Двигатели внутреннего сгорания» и 150401 «Проектирование технических и технологических комплексов». М.: МГТУ «МАМИ», 2008 год – с. 71: ил. 21, табл. 12, формул 37, приложений 10.

56. *Путьто А. В.* Расчет размерных цепей: учеб.-метод. пособие для студентов технических специальностей / *А. В. Путьто, А. В. Коваленко* / М-во образования Респ. Беларусь; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 32 с.

57. РД 50-635-87 Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей.

58. Сайт открытого акционерного общества «Северное производственное объединение «Арктика» <http://www.spoarktika.ru/index.html/>.

59. *Семенова И. В.* Коррозия и защита от коррозии. – М.: Физматлит, 2002, 335 с.

60. *Скалацкий О. Н., Скалацкий Н. О.* 900-атмосферная тест-камера Южного отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН. <http://incseatech.ru/index.php/novoe-v-morskoj-tekhnikе/135-barokamera-dlya-ispytaniy-glubokovodnoj-tekhniki.html>.

61. *Соболев С. Ф.* Разработка технологических процессов сборки приборов оптоэлектромехатроники: Учебное пособие. – Л.: ЛИТМО, 1991. – 72 с.

62. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. *А. Г. Косиловой и Р. К. Мецержакова.* – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 496 с, ил.

63. Справочник технолога-приборостроителя: В 2-х т. – 2-е изд., перераб. и доп. Т.2 / Под ред. *Е. А. Скороходова* – М.: Машиностроение, 1980. 463 с., ил.

64. Стратегия изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации на период до 2020 г.

65. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года.

66. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем / *Л. Н. Александровская, В. И. Круглов, А. Г. Кузнецов и др.*: Учеб. пособие. – М.: Логос, 2003. – 736 с.: ил.

67. ТОИ Р-66-20-93 Типовая инструкция по охране труда для электросварщиков ручной сварки.

68. *Флюстин А. Е., Мартыщенко Л. А., Кивалов А. Н., Малиновский В. С.* Испытания ракетно-артиллерийского вооружения. Часть 1. – МО РФ, 1998.

69. *Хорн Р.* Морская химия. – М.: Изд-во «Мир», 1972. 398 с., ил.

70. *Хруцкий О. В.* Техническая диагностика: учебник / СПбГМТУ. – СПб. – 2005.

71. *Ястребов В. С., Смирнов А. В., Челышев В. А.* Принципы построения погружных систем подводных аппаратов. – М.: Наука, 1979.

72. *Hütte.* Справочная книга для инженеров, архитекторов, механиков и студентов. Том 1. Издание тринадцатое. – М.: Государственное техническое издательство, 1930.

73. ISO 12944-2:1998 (E) Краски и лаки. Антикоррозионная защита стальных конструкций с помощью защитных лакокрасочных систем. Часть 2. Классификация окружающих сред.

74. The Scarlet Knight's Trans-Atlantic Challenge <http://www.i-cool.org/wp-content/uploads/2011/06/clearSignal1.jpg>

75. *Yuliya Chernova.* When sharks attack robots. THE WALL STREET JOURNAL. June 13, 2011.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр института со дня его основания в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механической технологии и возглавлялась известным ученым в области разработки инструмента профессором А.П. Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила из стен института более тысячи квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы ее возглавляли известные ученые и педагоги профессора Николай Павлович Соболев и Сергей Петрович Митрофанов.

Кафедра имеет выдающиеся научные достижения. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, профессором С. П. Митрофановым были разработаны научные основы группового производства, за что он был удостоен Ленинской премии СССР. Методы группового производства с успехом применяются в промышленности и постоянно развиваются его учениками. Заслуженным изобретателем Российской Федерации Юрием Григорьевичем Шнейдером разработаны метод и инструментарий нанесения регулярного микрорельефа на функциональной поверхности.

В настоящее время кафедра осуществляет выпуск специалистов по специальностям «Технология приборостроения» (инженер-технолог, инженер-технолог-менеджер, инженер-технолог по искусственному интеллекту в приборостроении) и «Системы автоматизированного проектирования» (инженер-системотехник). На кафедре ведется подготовка бакалавров, магистров, инженеров и аспирантов по названным специализациям силами семи профессоров и девяти доцентов.

Антон Валентинович Красильников

**Сборка и испытания агрегатов и систем
роботизированных морских технических средств**

Учебное пособие

В авторской редакции

Дизайн

А. В. Красильников

Верстка

А. В. Красильников

Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО

Зав. РИО

Н. Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе