

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»

Ю.М. Данилов

**ОСНОВЫ ХУДОЖЕСТВЕННОГО  
КОНСТРУИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

Утверждено учебно-методическим советом университета  
в качестве учебного пособия

Воронеж 2017

УДК 621.38(075.8)

ББК 32.85Я7

Д 18

Данилов Ю.М. Основы художественного конструирования технологического оборудования: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (1,0 Мб) / Ю.М. Данилов. – Воронеж: ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : цв. – Систем. требования: ПК 500 и выше; 256 Мб ОЗУ; Windows XP; SVGA с разрешением 1024x768; Adobe Acrobat; CD-ROM диск; мышь. – Загл. с экрана.

В учебном пособии рассматриваются особенности художественного конструирования машин электронной техники, организация художественно-конструкторских работ и эргономическая отработка конструкций оборудования.

Издание соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению 11.03.04 "Электроника и нанoeлектроника" (профиль "Электронное машиностроение"), дисциплине «Основы художественного конструирования технологического оборудования».

Библиогр.: 12 назв.

Рецензенты: ОАО "Электросигнал"  
(технический директор А.Д. Веревкин);  
д-р техн. наук, проф. А.В. Строганов

© Данилов Ю.М., 2017

© ФГБОУ ВО

«Воронежский государственный  
технический университет», 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Художественное конструирование, творческая проектная деятельность, направленная на совершенствование окружающей человека предметной среды, создаваемой средствами промышленного производства достигают путём приведения в единую систему функциональных и композиционных связей предметных комплексов и отдельных изделий, их эстетических и эксплуатационных характеристик. Художественное конструирование (часто отождествляемое с дизайном) — неотъемлемая составная часть современного процесса создания промышленной продукции, предназначенной для непосредственного использования человеком; оно ведётся в творческом контакте с инженерами-конструкторами, технологами и другими специалистами и призвано способствовать наиболее полному учёту требований потребителя и повышению эффективности производства. Художественное конструирование содействует созданию гармоничного предметного мира, отвечающего все возрастающим материальным и духовным потребностям человека. Художественное конструирование осуществляет художник-конструктор (дизайнер), использующий в своей работе результаты научных исследований в различных областях науки и техники, знающий современное промышленное производство, его технологию и экономику. Художественное конструирование опирается на теорию, разрабатываемую технической эстетикой, а также на данные экономики, социологии, психологии, эргономики, семиотики, системотехники и других наук. Метод художественного конструирования складывается из художественно-конструкторского анализа и художественно-конструкторского синтеза.

Специфическим для метода художественного конструирования является рассмотрение проектируемого изделия как элемента целого комплекса изделий, окружающих человека в конкретной предметной среде, которая должна максимально удовлетворять утилитарные и эстетические потребности и способствовать повышению эффективности его деятельности.

В современных условиях перехода к рыночной экономике среди множества проблем, связанных как с выживанием, так и последующим нормальным развитием предприятий, главной и решающей является проблема качества и художественного оформления

продукции. В ближайшие годы в лучшем положении окажутся те предприятия, которые смогут обеспечить не только наивысшую производительность труда, но и высокое качество, дизайн, новизну и конкурентоспособность.

В последние годы вопросам дизайна изделий, выпускаемых в России, уделяется все большее внимание. В учебных планах вузов для специальности 210107 «Электронное машиностроение» введена дисциплина «Дизайн и художественное конструирование». Однако учебной литературы по этой дисциплине для технических специальностей недостаточно. Книга «Художественное конструирование технологического оборудования в электронной промышленности» автора В.К. Федорова, предназначенная для инженеров-конструкторов и художников-конструкторов, работающих в области специального технологического оборудования, была издана в 1975 году издательством «Энергия», т.е. до введения в учебный процесс этой дисциплины и малым тиражом, что не позволило обеспечить этой книгой студентов в достаточном количестве. В связи с вышеизложенным, учебное пособие «Основы художественного конструирования технологического оборудования», рассматривающее один из важнейших вопросов создания высокохудожественных изделий, будет полезно для студентов технических специальностей.

## **1. ЗНАЧЕНИЕ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ХУДОЖЕСТВЕННОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ**

Художественное конструирование – это метод создания удобных в эксплуатации, красивых и экономичных в производстве промышленных изделий. Художественное конструирование решает вопросы эстетические, эргономические и экономические. Художник конструктор – специалист, имеющий художественное образование, обладающий вкусом и определенными техническими данными. Изделия создаются группой, в которой есть художественный конструктор. Задачи художественного конструирования следующие:

1. Рациональность общей компоновки изделия.
2. Удобство управления, контроля и обслуживания.
3. Обеспечение безопасности работы.
4. Простота технологии производства.
5. Повышение экономичности изготовления.
6. Достижение эстетической выразительности формы и цвета изделия.
7. Повышение общей культуры и быта, для которых предназначено изделие.

Необходимость в художественном конструировании вызвана:

1. Потребностью повышения конкурентоспособности на внешнем рынке наших изделий.

2. Участие страны ежегодно на 30 – 40 ярмарках и выставках.

СССР участвовал в строительстве на 350-400 промышленных предприятий слаборазвитых стран ежегодно, поставляя комплексное оборудование.

## **2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ**

Возникновение художественного конструирования относится к началу 20 века, но предпосылки для его становления развивались задолго до этого в процессе перехода от ручного к машинному производству, который повлек за собой «...полный технический перево-

рот, ниспровергающий веками нажитое ручное искусство мастера...» (Ленин В. И., Полное собрание соч., 5 изд., т. 3, с. 455). Непосредственным результатом этого переворота было противоречие между прогрессивностью, заложенной в новом изделии инженерной идеи, и его эстетической неполноценностью, приведшей к потере многими утилитарными предметами присущего им в прошлом художественного значения. Осознание этого противоречия, в середине 19 века, приняло вначале форму романтического призыва к возрождению средневековых ремесленных традиций (Дж. Рескин, У. Моррис), несостоятельность которого вскоре стала очевидной. Вопросам художественного конструирования в различных странах уделяют большое внимание в основном в рекламных целях. Основы западноевропейского художественного конструирования закладывались в теоретических и практических работах художников, архитекторов и инженеров П. Беренса, В. Гропиуса, Г. Земпера, Г. Мутезиуса (Германия), художники-конструкторы Ван де Велде (Бельгия), Ле Корбюзье, Ф. Рёло (Франция), в деятельности Немецкого Веркбунда и «Баухауза».

В 1930—40-е гг. центр художественного конструирования перемещается из Европы в США, где оно развивается преимущественно в форме т. н. коммерческого дизайна и используется в качестве эффективного инструмента конкурентной борьбы. Американские промышленные фирмы создают отделы художественного конструирования, возникает большое количество проектных и консультативных дизайнерских фирм. В 1950—1960-е гг. очагами теоретической мысли в области художественного конструирования становятся некоторые дизайнерские вузы Европы и США. Особенно велика роль Ульмской высшей школы художественного конструирования. В ряде стран (Великобритания, Франция, Италия, ФРГ, Япония и др.) возникают государственные и общественные организации, ставящие своей задачей содействие развитию художественного конструирования — национальные советы по дизайну, дизайн-центры и профессиональные ассоциации дизайнеров. В 1957 они объединились в Международный совет организаций по художественному конструированию (ИКСИД). В США первый институт художественного конструирования создан в 1933 году в Чикаго. В 1954 году в США 53 ВУЗа, а к 1961 — 65 ВУЗов. Завод Форда имеет 1200 художников-конструкторов. В 1954 году в Англии создано отделение художественного конструирования, а в 1967 году ведется преподавание в 30

ВУЗах. В 1953 году в ФРГ создана школа художественного конструирования. Лучшими были признаны Итальянские и Японские художники-конструкторы. В Чехословакии, Польше, ГДР художественному конструированию уделялось больше внимания чем в СССР. В 1954 году в Венгрии создан совет по эстетике. В 1957 году создан Международный совет по художественному конструированию (общество «ИКСИД»), по инициативе Англии и Франции, объединивший 38 организаций художественного конструирования из 27 стран мира. СССР стало членом этого общества с сентября 1965 года. Это общество охраняет права художников-конструкторов, консультирует и проводит конференции для подготовки художников-конструкторов. Это общество руководит всем художественным конструированием в мире и проводит конгрессы. В Италии учреждена международная премия – «Золотой циркуль». В Англии выдаются премии за «элегантную конструкцию». Для практики художественного конструирования капиталистических стран характерно создание промышленных изделий с высокими потребительскими свойствами. Здесь имеются также отдельные примеры успешного использования художественного конструирования для повышения эффективности деятельности человека в экстремальных условиях (освоение космоса, Мирового океана и т.п.). Одной из важнейших сфер применения художественного конструирования в 1960—70-х гг. стало создание фирменного стиля для крупных промышленных предприятий и корпораций, который охватывает продукцию, упаковку, рекламу, транспорт, одежду персонала, архитектуру зданий, объединяя их общими художественными признаками. Фирменный стиль нередко отличается высоким эстетическим уровнем, однако такого рода решения диктуются в основном рекламно-коммерческими соображениями. До 1917 года промышленность в России была развита очень слабо. В СССР предшественниками художественного конструирования явились деятели искусства (создавшие, например, центры художественного ремесла в Абрамцево, Талашкино и др.), представители русской инженерной школы (И. И. Рерберг, В. Г. Шухов) и теоретики технического творчества (Я. А. Столяров, П. И. Страхов, П. М. Энгельмейер). После Октябрьской социалистической революции и Гражданской войны все силы страны были направлены на создание тяжелого машиностроения. Затем последовала Отечественная война 1941 – 1945 г.г. и годы восстановления народного хозяйства. Еще 25 декабря 1920 года В.И.Ленин подписал указ об образовании курсов ху-

дожников-конструкторов. Важной вехой на пути к современному художественному конструированию стало создание Вхутемаса, с деятельностью которого были связаны практики и теоретики производственного искусства. В 1930-х гг. элементы художественно-конструкторского подхода редко использовались в различных сферах проектирования. В послевоенные годы художественное конструирование развивалось преимущественно в отраслях промышленности, связанных с транспортным машиностроением. Первой специализированной организацией по художественному конструированию было созданное в 1946 г. Архитектурно-художественное бюро министерства транспортного машиностроения СССР, которое разрабатывало художественно-конструкторские проекты пассажирских судов, вагонов, троллейбусов и т.п.

Развитие художественного конструирования в СССР интенсифицировалось после выхода в свет постановлений Совета Министров СССР «Об улучшении качества продукции машиностроения и товаров культурно-бытового назначения путем внедрения методов художественного конструирования» (1962) и «Об использовании достижений технической эстетики в народном хозяйстве» (1968). В 1962 г. были созданы институт технической эстетики (ВНИИТЭ) и ряд специальных художественно-конструкторских бюро (СХКБ) в различных отраслях промышленности, в 1960—1970-х гг. — большое количество художественно-конструкторских подразделений на промышленных предприятиях, в КБ и НИИ. ВНИИТЭ и его филиалы ведут научную разработку вопросов методик художественного конструирования, его эргономических основ, осуществляют экспериментальное проектирование важнейших видов промышленных изделий, методическое руководство работой художников-конструкторов в промышленности. Организованы специальные художественно-конструкторские бюро (СХКБ) в Москве, Свердловске, Хабаровске, Киеве, Риге, Баку, Тбилиси, Ереване и открыты факультеты в Московском высшем художественно-промышленном училище (МВХПУ) и Ленинградском высшем художественно-промышленном училище (ЛВХПУ). В 1965 подготовлено 35 художников-дизайнеров. В 1964 г. создан художественно – промышленный институт в Харькове. Готовят художников-конструкторов институты и высшие учебные заведения в Грузии, Латвии, Литве, Эстонии. Всего подготовкой художников-конструкторов начали заниматься в семи ВУЗах и Киевском промышленно-художественном техникуме. С 1965 года в тех-

нических ВУЗах введен курс основ художественного конструирования и подготовлены программы художественного конструирования для техникумов и средних школ. На заводах и предприятиях работают художники-конструкторы и вводится должность заместителя главного конструктора по художественному конструированию. На крупных заводах созданы художественные советы, которые разрабатывают новые изделия, занимаясь культурой и эстетикой производства. Установлены ежегодные премии ВДНХ за выдающиеся конструкторско-художественные проекты. В СССР была введена государственная регистрация и правовая охрана промышленных образцов. Государственным комитетом, после проведения экспертизы, выдавались авторские свидетельства или патенты. С 1964 издаётся ежемесячный информационный бюллетень «Техническая эстетика», освещающий вопросы теории, методики и практики художественного конструирования, выпускаются «Груды» ВНИИТЭ, библиографические и обзорные издания, ведётся пропаганда художественного конструирования, организуются выставки достижений советского и зарубежного конструирования, осуществляется информационное обслуживание специалистов. С 1965 г. ВНИИТЭ — член Международного совета организаций по художественному конструированию (ИКСИД). В 1975 г. в Москве был проведён международный конгресс по дизайну и художественному конструированию. Одна из основных тенденций развития художественного конструирования в СССР — расширение проектно-конструкторских задач, рост их масштабов (наряду с разработкой отдельных изделий комплексное оборудование крупных объектов и предметное оснащение функциональных служб). В художественном конструировании осуществляется переход от частных разработок к созданию художественно-конструкторских программ, способствующих повышению качества продукции и эффективности производственных объединений и целых отраслей промышленности.

В других социалистических странах художественное конструирование также нашло широкое применение — оно использовалось в решении важных народно-хозяйственных задач (в особенности тех, которые связаны с повышением качества промышленной продукции, культуры производства) и развивалось планомерно при содействии государства; создавались отраслевые и межотраслевые центры художественного конструирования, научно-исследовательские организации, государственные координирующие органы.

В СССР, с привлечением представителей из социалистических стран, были проведены конференции по художественному конструированию: в 1964 году в Тбилиси, 1965 – в Москве, 1966 – в Харькове. Выставки по художественному конструированию были организованы: 1964 году в Тбилиси и на ВДНХ, в 1965 - в Ленинграде, в Москве на ВДНХ и в Доме архитектора, в 1966 году – на ВДНХ. В 1964 году в Москве на ВДНХ была организована английская выставка по художественному конструированию.

Материалы по художественному конструированию печатались с 1964 года в журналах: «Техническая эстетика», «Декоративное искусство», «Архитектор», «Художник» и ежемесячном реферативном обозрении «Художественное конструирование за рубежом».

### **3. ЭТАПЫ ХУДОЖЕСТВЕННОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ**

Инженерно-техническое художественное проектирование производится в четыре этапа:

1. Разработка технического задания.
2. Разработка технического предложения.
3. Разработка рабочего проекта.
4. Выполнение опытного образца.

Техническое проектирование решает вопросы технических характеристик изделия и технико-экономических и эргономических показателей. Художественное конструирование решает взаимоотношение изделия и человека. В результате художественного конструирования должны быть созданы изделия, которые бы наилучшим образом удовлетворяли человека в процессе их использования.

#### **Процесс художественного конструирования промышленных изделий**

Основные этапы проектирования промышленных изделий.

1. На этапе технического задания художник - конструктор принимает участие в разработке технического задания или анализирует техническое задание. Производит сбор материалов и изучает прототипы данного изделия. Выявляет недостатки существующих изделий, причины их неудобства в эксплуатации и неудовлетворительного внешнего вида. Одновременно с этим производит анализ лучших отечественных и зарубежных образцов данного вида изделий

с целью определения возможности улучшения изделия со всех точек зрения: экономичности, технологичности, эстетичности качеств. Производит изучение функций (назначение) проектируемого изделия, спроса и рационального предложения, если изделие модернизируется. Изучает технологические материальные и экономические условия реализации проекта и условия эксплуатации. Выполняет оперативную корректировку технического задания согласно результатам исследования, с целью, чтобы спроектированное по этому заданию изделие было лучшим в своем классе к моменту его массового выпуска. (Материалы анализа желательно оформить в виде таблицы).

2. На этапе технического предложения разрабатывает художественно-конструкторское предложение. На этом этапе выполняются следующие работы: предварительное исследование на основе данных топологии, социологии, экономики и других наук; изучение конструкции материалов и технологии производства; определение требований, предъявляемых к разрабатываемому изделию; разработка вариантов эскизов в графике и объеме; анализ и выбор эскизных вариантов.

3. На этапе разработки художественно-конструкторских проектов производится: окончательная компоновка; моделирование и макетирование; разработка сложных поверхностей; выбор конструктивно-отделочных материалов; экономическое обоснование; оформление проекта.

Результаты работы художественного конструирования. конструкторское предложение, художественно-конструкторский проект, модель и (или) макет. Компоновочные чертежи изделия и перспективные изображения, заказ на материалы и пояснительная записка. Компоновка в трех вариантах. Три эскизных варианта в графике и объеме. Обоснование решений.

4. На этапе рабочего проекта. Рабочее проектирование; участие в разработке рабочих чертежей изделия; технологической оснастки; плазовых чертежей; контроль, обеспечивающий соответствие рабочих чертежей художественно-конструкторскому проекту; разработка чертежей и элементов промграфики, пультов, щитов и деталей внешнего оформления изделия.

Результаты работы: рабочий проект. Чертежи общих видов, подписанная техническая документация

5. На этапе создания опытного образца. Участие в авторском надзоре за изготовлением, испытанием и доводкой опытного образца.

#### **4. ОСОБЕННОСТИ ДИЗАЙНА В ЭЛЕКТРОННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ**

Внедрение в электронную промышленность методов художественного конструирования не только открывает новые возможности повышения эстетических сторон качества, но и способствует конструктивно-технологической оптимизации изделий. Одним из важнейших показателей качества изделий становится художественно-конструкторский уровень, под которым понимается совокупность технологических, эстетических, эргономических и других достоинств, которыми обладает данное изделие.

Следовательно, художник-конструктор должен решать одновременно художественные, инженерные, социальные и экономические задачи, т.е. должен быть специалистом более разносторонним, чем обычный инженер или обычный художник.

Методы художественного конструирования отличаются от традиционных инженерных методов в том, что помимо обеспечения высокой функциональности изделия, его надежности, технологичности, позволяют обеспечивать удобство пользования изделием, максимальное соответствие его условиям эксплуатации, создание гармонически целостной формы, стилевого единства.

Прежде чем рассматривать особенности и тенденции художественного конструирования в электронном машиностроении, следует остановиться на некоторых особенностях развития технологического оборудования электронной промышленности.

В настоящее время разработка технологического оборудования проводится по следующим основным направлениям:

1. Разработка отдельных видов и комплектов оборудования под утвердившиеся в пространстве технологические процессы и приборы, а также разработка новых типоразмеров оборудования под расширяющуюся номенклатуру приборов.

2. Создание базовых конструкций, унификация и стандартизация разработанных ранее видов оборудования с целью повышения

технологичности и снижения ее себестоимости, повышения надежности и удобства эксплуатации.

3. Модернизация оборудования, находящегося в эксплуатации на действующих предприятиях, под новые технологические процессы.

4. Разработка новых видов и комплектов оборудования под новые технологические процессы и приборов с целью повышения производительности, улучшения параметров и надежности приборов и т.п.

Следовательно, особенностью художественного конструирования в электронном машиностроении является то, что в отличие от классических областей машиностроения, используется целый ряд новых сложных физико-химических процессов, которые еще не полностью изучены и при использовании которых могут возникать самые разнообразные построения компоновочных схем и объемно-пространственных структур, часто не имеющих аналогов и прототипов по формообразованию.

Поэтому в электронном машиностроении часто возникают совершенно новые формы. Но и они имеют высокий уровень морального износа, так как интенсивность освоения новейших технологических методов и принципов построения оборудования чрезвычайно велика.

При проектировании оборудования электронной промышленности часто не представляется возможность базироваться на опыте традиционных областей машиностроения.

Можно сказать, что в электронном машиностроении преобладает функционализм и конструктивизм с ограниченными средствами композиции. Это является главной особенностью художественно-конструкторского подхода к проектированию.

Если ранее предметом проектирования являлись модели технологического оборудования, то в настоящее время проектируются, как правило, совокупности оборудования – комплекты оборудования, обеспечивающие замкнутый технологический цикл. В таких комплектах оборудование связано общностью технологического процесса, единым размерно-параметрическим, конструктивно-технологическим и художественно-конструкторским решением. Это предполагает особые принципы подхода к художественно-конструкторскому решению — проектирование на базе размерно-параметрических рядов с использованием широкой унификации и

стандартизации решений. Таким образом, еще одной характерной особенностью художественного конструирования электронного машиностроения является тесная связь стандартизации и художественного конструирования, т.к. формы и функции в технологическом оборудовании тесно связаны. Поэтому решать вопрос стандартизации формы (и отдельных формообразующих элементов) можно лишь на основе стандартизации компоновки комплектующих узлов и блоков. Решая вопросы стандартизации, художник-конструктор не только преследует цели создать более лаконичную и целостную форму, но и, что более важно, способствует общей технико-экономической и технологической оптимизации конструкции.

Характерными особенностями проектирования технологического оборудования электронного машиностроения, которые накладывают особый отпечаток на процесс художественного конструирования, являются следующие:

1. Чрезвычайно высокие требования к точности поддержания технологических параметров.
2. Широкое внедрение принципиально новых технологических процессов.
3. Постоянное ужесточение требований стабильных сверхчистых производственных условий (требований электровакуумной гигиены).
4. Довольно высокий удельный вес вспомогательных технологических операций, которые трудно поддаются автоматизации и механизации.
5. Тесная связь вопросов формообразования и стандартизации и т.п.

Художественное конструирование основывается на материалах экспериментального характера, носит эмпирический, качественный характер.

Пути построения теории художественного конструирования могут быть следующими: использование методов теории подобия и моделирования (экспериментально теоретический метод исследования) и параллельно с ним теоретико-экспериментальный метод.

Главным критерием, определяющим оптимальность художественно-конструкторского решения, являются психофизиологические характеристики человека-оператора, поэтому первым шагом на пути создания теории художественного конструирования должно быть построение физической и математической моделей человека-

оператора. Только четко направленные исследования в этой области дадут в руки художников-конструкторов научно обоснованные критерии. Физические модели параметров человека-оператора должны быть как статические, так и динамические.

Перечень некоторых первоочередных моделей:

антропометрическая модель (в функции от возраста, пола и т. п.);

привычные (рекомендуемые) рабочие позы и дополняющие их позы отдыха (эти модели также функции параметров антропометрических моделей с обязательным указанием времени работы и отдыха);

силовые модели для максимальных, наиболее экономичных и минимальных рабочих усилий (все эти модели должны характеризоваться рабочими позами и рабочими движениями с указанием временных и антропометрических характеристик);

обобщенная модель человека-оператора по переработке информации (в зависимости от количества информации, вида информации, возраста и т. п.) и т. д. Это позволяет отнести человека-оператора к той или иной группе.

Последнее время все большее внимание специалисты уделяют изучению возможностей машинного проектирования изделия методами художественного конструирования, использованию ЭВМ для поисков оптимального формообразования и исследования системы «человек-машина».

Машинное проектирование – это творческий процесс взаимодействия человека, компьютера и производства, направленный на создание изделий на базе существующей технологии. Конечной целью машинного проектирования является создание технической документации на изделие. В ближайшее время невозможно исключить участие человека в машинном проектировании, так как человек формулирует задачу для ЭВМ и создает методику ее решения. Кроме этого, многие творческие задачи проектирования могут иметь промежуточные варианты решений, которые приходится контролировать. Вопрос разумного разделения функций между художником-конструктором и машиной в системе машинного проектирования особенно принципиален, так как в поисках оптимального композиционного решения формы изделия значительное место занимает творческая интуиция художника-конструктора, его вкус, знание тенденций, стиля и т.п.

Основой машинных методов в художественном конструировании является логико-математическое моделирование. При этом правомерны два пути подхода: моделирование процесса проектирования и моделирование непосредственно объекта проектирования.

Сложность первого пути – построения «модели творческой деятельности» связано с тем, что в процессе художественного конструирования переплетаются элементы научного, технического и художественного творчества, связанные с переработкой человеком обширной информации и выработкой сложных решений, качественный эффект которых не поддается точной оценке.

Сложность второго пути в разработке моделей изделия и принципов комбинаторики при поисках вариантов компоновочного и композиционного решений.

## **5. КЛАССИФИКАЦИЯ ХУДОЖЕСТВЕННО-КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Для оптимального художественного конструирования необходимо иметь всестороннюю и подробную классификацию как предмета конструирования, так и художественно-конструкторских путей проектирования и решений, возникающих при этом.

В условиях современного проектирования классификация систем, конструкций (и методов) является основополагающей.

Художественное конструирование, использующее данные множества областей знаний нуждается в такой классификации, так как до настоящего времени этот вопрос остается почти неразработанным. Конкретное компоновочное и композиционное решение оборудования, стилевое и цветовое решение тесно связаны с вопросами классификации. Связан с ними выбор тех или иных практических методов и средств, в художественном конструировании.

Под системой классификации можно понимать систему признаков из  $L$  групп, отвечающую целям создания художественно-конструкторского классификатора.

Классификационная система признаков должна отвечать следующим основным требованиям.

1. Каждый объект, подлежащий классификации, должен иметь систему признаков, отвечающую целям классификатора, при

этом число признаков не должно быть меньше уровней классификатора.

2. Система признаков, примененная на высшем уровне, не должна повторяться на последующих уровнях.

3. Признаки, примененные на одном уровне, не должны пересекаться и дублироваться для однозначности определения по данному признаку в классификаторе.

Технологическое оборудование и аппаратура электронного машиностроения имеют необходимое и достаточное число художественно-конструкторских признаков, чтобы система классификаций могла быть построена.

Главная задача при построении художественно-конструкторского классификатора заключается в формировании из множества  $N$  признаков  $L$  групп признаков и затем в выборе  $I$  групп признаков из  $L$ . Каждая из  $I$  групп устанавливает определенный уровень классификатора.

Конечная задача — установить порядок классификации по установленным  $I$  группам признаков, т. е. иерархию групп признаков по уровням.

Признаки, применяемые в классификаторе, должны удовлетворять при этом перечисленным выше требованиям.

Так, установлены следующие два основных признака классификации машин: по характеру перемещений обрабатываемой детали; по месторасположению в технологическом процессе.

Конструкции радиоэлектронной аппаратуры классифицируются обычно по диапазонам волн, по назначению, по способу компоновки и т. п. Могут быть и другие признаки для создания классификации.

Одной из основных в электронном машиностроении для сферы инженерного конструирования является классификация технологического оборудования и аппаратуры по технологическому признаку.

Для создания классификации художественно-конструкторских решений необходимо базировать ее на существующих инженерных классификациях, так как метод художественного конструирования является специфическим методом промышленного проектирования.

Однако инженерные классификации не могут служить непосредственной основой для создания художественно-конструкторской

классификации, так как многие признаки инженерной классификации часто никак не связаны с признаками, которые могли бы быть положены в основу художественно-конструкторской классификации и тем более не могут выражать художественно-конструкторских качеств оборудования.

Для правильного построения художественно-конструкторской классификации конструкций, очевидно, необходимо создать промежуточную инженерную классификацию по признакам, которые были бы одновременно существенны для выбора инженерных и художественно-конструкторских решений.

Это могут быть признаки, определяющие компоновочное решение оборудования, общие принципы конструктивно-технологического решения конструкции (в том числе формообразующих элементов), условия эксплуатации, характеризующие эргономические требования к человеку-оператору при эксплуатации.

Выявлены следующие основные группы признаков для построения такой классификации: по месту оборудования в технологическом процессе, по конструктивно-технологическому решению, по способу компоновки, по эргономическому решению.

Определив основные группы признаков, по которым возможно провести классификацию, важно правильно выбрать в каждой из указанных групп 1 группы, т. е. правильно установить уровни классификации по каждому из признаков. При этом должна соблюдаться иерархия характеристик на отдельных уровнях классификации. Таким образом, для каждого указанного выше признака можно построить модель классификации, которая в целом дает представление об иерархии характеристик на уровнях этой классификации.

Взяв за основу рассмотрения классификации перечисленные выше признаки, можно получить следующие системы промежуточных классификаций.

По месту оборудования в технологическом процессе оборудование электронного машиностроения можно подразделить на заготовительное оборудование (предварительная подготовка полуфабрикатов, очистка материалов и т. п.); основное технологическое оборудование (выполнение основных технологических процессов по изготовлению изделий электронной техники); контрольно-измерительное и испытательное оборудование (контроль параметров, испытание, маркировка, упаковка готовых изделий).

По конструктивно-технологическому решению конструкции оборудования могут быть классифицированы на автоматы, полуавтоматы, оборудование с ручными операциями. Каждый из этих классов подразделяется на однопозиционные и многопозиционные машины.

Однопозиционные и многопозиционные конструкции могут быть как дискретного, так и непрерывного действия.

Многопозиционные конструкции, кроме того, могут быть подразделены на конструкции карусельного и конвейерного типа.

Однопозиционные и многопозиционные машины дискретного и непрерывного действия могут иметь как стационарное, так и передвижное исполнение, а также работать в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режиме, что также является одним из существенных признаков конструктивно-технологического и художественно-конструкторского решения.

По способу компоновки оборудование можно классифицировать на конструкции с централизованной компоновкой комплектующих деталей и узлов (конструкции, в которых все составные узлы и блоки заключены в общем корпусе); конструкции с децентрализованной компоновкой комплектующих деталей и узлов, (многоблочные конструкции: комплекты и комплексы оборудования и линии оборудования) имеющие выделенные из общего корпуса пульта управления, приборные приставки (шкафы, стойки и т. п.).

В основу классификации оборудования по эргономическому признаку может быть положена степень автоматизации оборудования и работа оператора (сидя, стоя), а также точность операций, выполняемых оператором – как основные прикладные критерии, определяющие принцип эргономического решения конструкции.

Представленные выше промежуточные классификации могут служить непосредственной основой создания художественно-конструкторских классификаций и могут использоваться в художественно-конструкторских разработках.

Классификация оборудования по технологическому признаку позволяет на первых этапах художественного конструирования установить ряд общих эргономических требований, к оборудованию, требований к его отделке и т. п., т. е. позволяет определять сложность и требуемую глубину художественно-конструкторской разработки. Так, например, к заготовительному оборудованию могут не предъявляться требования электровакуумной гигиены (соответст-

венно и особые композиционные требования, в частности, цветового решения), которые выступают как одни из главных при проектировании основного технологического оборудования (например, монтажно-сборочного, вакуумного, фотолитографического, контрольно-измерительного).

Большое значение для выбора художественно-конструкторского решения имеет классификация по конструктивно-технологическому признаку.

Проектирование автоматов и оборудования с ручными операциями оператора, с точки зрения художественного конструирования, принципиально различно. Это различие выражается в основном в эргономическом решении конструкций машины и как следствие этого в ее размерных построениях, компоновке и общем формообразовании.

Если рассмотреть классификацию по конструктивно-технологическому признаку далее, то она приводит к конкретным принципам компоновки функциональных узлов машин, которые являются основой композиционного решения в художественном конструировании. Так, многопозиционные и однопозиционные машины имеют свои характерные для них принципы компоновки, которые определяют их формообразование.

Из классификации по конструктивно-технологическому признаку можно в целом установить принцип компоновки комплектующих функциональных узлов машины. Из классификации по способу компоновки определяется общий подход к формообразованию машины – ее централизованное или децентрализованное решение, а следовательно, и композиционное решение формы. Устанавливается, будут ли функциональные узлы и блоки заключены в общий корпус (каркас), или же отдельные из них будут заключены в приборные приставки (шкафы, стойки и т. п.), или будут сосредоточены на общем пульте управления.

Такая классификация также непосредственно определяет принцип выбора художественно-конструкторского решения.

Классификация оборудования по эргономическому признаку выступает как классификация художественно-конструкторского плана. Рассмотренные промежуточные классификации позволяют определить принципы классификаций оборудования по художественно-конструкторскому решению. Художественно-конструкторское решение может характеризоваться целым рядом частных признаков, на-

пример его композицией, стилем, цветовым решением и т. п. Но все они являются частными производными следующих двух основных признаков, которые могут быть положены в основу классификации художественно-конструкторских решений: это принятое теоретическое направление художественного конструирования; характер объемно-пространственной структуры формы. Эти две группы признаков определяют в целом художественно-конструкторское решение технологического оборудования и аппаратуры в совокупности с приведенными выше классификациями и в первую очередь с эргономической. Рассмотрим отдельно классификацию по каждому из признаков.

Известно, что процесс художественного конструирования протекает методически различно и дает те или иные результаты в зависимости от того, какое теоретическое направление художественного конструирования выбрано. Выбор того или иного направления определяет и общий подход к композиционному решению, и выбор средств художественного конструирования и стилевое решение, и многое другое.

Под выбором теоретического направления художественного конструирования понимается выбор художником-конструктором определенной творческой позиции, творческой концепции (как с точки зрения целей и содержания процесса проектирования, так и с точки зрения предполагаемых результатов проектирования).

Говоря о теоретических направлениях художественного конструирования, неизбежно рассмотрение художественного конструирования как основной составной части сложной дизайнерской деятельности. Если учитывать современные особенности дизайна, как совокупности художественно-проектной деятельности, направленной на преобразование искусственной среды создаваемой человеком и приводящей к повышению потребительской ценности продуктов, то нас интересует лишь одна сторона этой деятельности, а именно художественное конструирование оборудования электронной промышленности. Целесообразно выделить следующие два основных теоретических направления художественного конструирования: «истинный» дизайн и «стайлинг».

Истинный дизайн — это такое направление художественного конструирования, когда изделие проектируют путем рационального воплощения функции и конструкции в композиционно законченную

и отвечающую им форму (добиваясь гармоничного единства формы и функции).

Истинный дизайн может развиваться по трем направлениям: «теоретический» («академический») дизайн, инженерно-художественное конструирование («инженерный дизайн»), «вульгарный», или консервативный дизайн.

Теоретический (академический) дизайн предполагает проектирование всякий раз новых форм машин, станков, приборов и т. п. при изменении их технических функций, т. е. требует находить для каждого изделия, имеющего новую техническую сущность, абсолютно новых художественно-конструкторских воплощений.

В технике, как и в природе, мы имеем дело с двумя взаимосвязанными формами развития, составляющими диалектическое единство: эволюционной формой, характеризуемой постепенными количественными изменениями; революционной формой, характеризуемой перерывом постепенного развития, быстрым качественным скачком от низшего к высшему. Примерами эволюционного развития конструкций в технике могут служить, после первичного скачка, радиолампы различного назначения. Примерами качественного скачка в тех же областях техники является переход от радиоламп к полупроводниковым приборам. Многолетняя практика художественного конструирования в нашей стране и за рубежом показывает, что эволюционное развитие технической функции сопровождается эволюционным развитием формы (или, более просто, художественно-конструкторской модернизацией формы). Создание же принципиально новых решений в художественном конструировании происходит, как правило, при революционном изменении технической функции.

Новая техническая функция возникает слишком редко, поэтому на практике художники-конструкторы чаще имеют дело с постоянной технической модернизацией функций и конструкций машин, уже имеющих какие-то прототипы и уже сложившиеся тенденции формообразования. В этих случаях ни с художественно-конструкторской, ни с экономической точки зрения нет необходимости искать абсолютно новые формы изделий, а целесообразнее проектировать современные модификации формы. Если же техническая модернизация функций на какой-то момент становится весьма существенной и приводит к качественному изменению функций, может

возникать вопрос о поисках принципиально нового формообразования.

Следовательно, в художественном конструировании это направление практически отсутствует, хотя оно теоретически и верно, так как предполагает создание изделий, отличающихся единством формы и содержания.

Широко распространенным направлением в сфере художественного конструирования технологического оборудования является «инженерный дизайн» (или инженерно-художественное конструирование), дающий на практике замечательные результаты. Он заключается в нахождении новых форм для основных технических функций (или групп функций) и построении их с применением новейших конструкторских и технологических принципов.

В инженерном дизайне можно рассмотреть два основных, наиболее характерных подхода к формообразованию технологического оборудования и аппаратуры: конструктивизм и функционализм, хотя часто такое деление можно провести лишь условно.

Конструктивизмом, как направлением художественного конструирования можно считать такой путь конструирования, когда конструкция данной машины однозначно определяет ее формообразование и практически служит ее технической формой. Ярким примером конструктивизма в дизайне может служить решение машин для заварки колб радиоламп, машин для калибровки колб радиоламп, полуавтоматов откачки ламп. «Конструктивизм» — весьма распространенное направление художественного конструирования, так как при формообразовании многих машин нецелесообразно применять кожухи, крышки и т. п. (по условиям их эксплуатации или ввиду особых технологических процессов). Кинематические узлы таких машин остаются при формообразовании открытыми, и к ним предъявляются лишь повышенные требования к качеству изготовления или отделки. Эстетическое решение таких машин определяется в основном компоновочным решением функциональных узлов и блоков, в котором принимает участие художник-конструктор. В то же время эргономические параметры для таких решений могут быть весьма существенны.

При функционализме принципы формообразования машин в значительной мере подчинены ее функции, вытекают из нее, а иногда однозначно ей определяются. Основой формообразования при функ-

ционализме также служит рациональная компоновка комплектующих деталей и узлов.

Художник-конструктор должен обязательно участвовать в создании компоновки и уже в ней пытаться заложить будущее гармоническое решение формы. Функционализм как направление также широко распространен.

На практике имеется взаимное сочетание функционализма и конструктивизма. Они тесно переплетены, и разделить их на рассмотренные выше отдельные принципы практически невозможно.

Консервативный дизайн предполагает модернизацию формы изделия, принципиально сохраняя конструктивные и технологические принципы его изготовления неизменными, старыми. Это направление работы художника-конструктора порождено консерватизмом производства и в свою очередь способствует упрочению этого консерватизма.

Вторым большим направлением художественного конструирования является стайлинг. Распространено мнение, что стайлинг в отличие от «собственно» дизайна является реакционным направлением дизайна. Однако такое утверждение слишком категорично и неверно определяет стайлинг как направление дизайна. Стайлинг весьма сложное направление дизайна, позволяющее за счет формирования единых, стабильных проектных концепций, реализованных во внешне воспринимаемых чертах формы, сохранять индивидуальность, стиль данных изделий. Очевидно, что поиски и развитие этих проектных концепций предполагают и глубокий функциональный анализ изделий данного вида, и внедрение новых конструктивно-технологических решений и т. п.

Художник-конструктор, рассматривая новые (с точки зрения стиля) представления об изделии, чаще всего затрагивает и вопросы компоновки и эксплуатационные показатели. Таким образом, он проводит не чисто внешнюю, а всестороннюю разработку изделия, всегда имея в виду достижение современного уровня стиливого решения, т. е. это направление совсем не означает поверхностный подход к поискам современного стиля и моды. Стайлинг при правильном, профессиональном подходе может служить эффективнейшим средством повышения комплексного качества изделий и, конечно, не имеет ничего общего с оформительством, украшением готовых изделий с целью придать им современный товарный вид.

Стайлинг как направление имеет относительно ограниченное применение в художественном конструировании оборудования и весьма широко применяется в художественном конструировании приборов бытовой электроники, товаров культурно-бытового назначения и т. п. Стайлинг можно условно подразделить на два основных направления: конъюнктурный стайлинг (коммерческий дизайн); теоретический стайлинг. Конъюнктурный стайлинг отличается тем, что он имеет своим продуктом потребительскую ценность продукта в ее форме дополнительной товарной ценности непосредственно. Это характерное направление западного дизайна. В условиях капиталистического мира перед художником-конструктором стоит нелегкая проблема поиска компромисса между своими эстетическими представлениями художника и эстетическими представлениями массового потребителя, колебаниями его вкуса, модой.

Художник-конструктор в этом смысле должен приложить максимум усилий для того, чтобы создать такое изделие, которое было бы легко выделено потребителем среди подобных изделий и убедило его в приобретении. Например, стиль Оливетти — это особое направление, которое позволяет фирме готовить и воспитывать потребителя для своей продукции, удовлетворяя реальные культурные запросы или угождая публике.

В зависимости от подхода к стилистике изделий коммерческий дизайн может подразделяться на ряд направлений. Среди них могут быть выделены такие, например, как аэродинамизм и скульптурный дизайн. Название каждого из этих направлений выражает общий подход к формообразованию изделий, рожденный определенной модой, понятием эстетического в промышленных изделиях. В одном случае — это придание формам изделий аэродинамических (космических) очертаний, часто не свойственных изделиям, не отвечающих естественному, утилитарному смыслу изделий, в другом — придание формам изделий нарочито сложных, скульптурных композиционных построений.

Теоретический стайлинг наиболее правильно отражает смысл стайлинга, как направления дизайна и наиболее широко распространен в практике художественного конструирования технологического оборудования. Теоретический стайлинг (стилистику) можно условно подразделить на стилистику по видам или классам изделий, стилистику по фирмам-изготовителям, комплексную стилистику.

Стилистика по видам (или классам) оборудования заключается в придании эстетическому решению всего оборудования данного вида такого характера или таких общих стилевых черт, что данный вид (группа оборудования, объединенная общностью назначения или общностью выполняемых функций) резко выделяется (отличается) по ряду композиционных признаков среди оборудования других видов. Этот вид стилистики наиболее глубокий и общий и заключается практически в функциональном, техническом отличии оборудования различных видов друг от друга.

Обычно это выражается в самой форме оборудования — в ее компоновочном решении. Этот вид стилистики в его полном понимании может рассматриваться как художественно-конструкторская проработка, вытекающая из объемно-пространственного решения формы, и может быть отнесен к направлениям «собственно» дизайна.

В этом случае такие (обычно применяемые) средства стилистики, как характерное цветовое, графическое и тому подобные решения отступают на второй план.

Другое направление стилистики — стилистика оборудования по фирмам-изготовителям.

Стилистика оборудования по фирмам-изготовителям является практическим выражением творческих направлений, сложившихся в фирмах (на предприятиях) в результате длительной практики проектирования. Этот вид стилистики получает воплощение в различных направлениях: в характерном для данного предприятия конструктивном исполнении формообразующих конструкций оборудования; в характерной, принятой на данном предприятии, технологии их изготовления; в определенном цветовом решении оборудования данного предприятия; в характерном исполнении устройств отображения информации и органов управления; в характерном выполнении товарных знаков, надписей, шильдов и символов на лицевых панелях оборудования и т. п. При этом, например, широко применяется стилизация путем цветового решения (двухцветная отделка лицевых панелей, решение лицевых панелей и корпуса оборудования посредством нюансного или контрастного сочетания, выделение цветом органов управления и т. п.).

Возникающий при этом «фирменный» стиль представляет собой совокупность типовых визуально воспринимаемых признаков, вызывающих у потребителя устойчивые представления о художест-

венно-конструкторском решении оборудования, выпускаемого (разрабатываемого) данным предприятием.

Наиболее широко применяется комплексная стилистика. Этот творческий путь наиболее многообразен по своим возможностям, так как предполагает комплексное применение перечисленных выше способов стилистики.

На практике проявляются в равной мере все рассмотренные направления в зависимости от условий, в которых работает художник-конструктор, особенностей проектируемого оборудования, плановых сроков проектирования, требуемой глубины разработки и т. п.

Рассмотренные теоретические направления художественного конструирования сложно взаимодействуют и переплетаются друг с другом, и выделить их в самостоятельные можно лишь чисто методически.

Характер объемно-пространственной структуры формы, в целом определяет композиционное решение оборудования, конкретные приемы и средства композиции, применяемые для гармонизации формы. Объемно-пространственная структура — основная категория композиции, определяющая типичный характер взаимосвязи пространства и объема при формообразовании промышленных изделий.

Этот типичный характер определяется в основном общим назначением промышленного изделия.

Обычно, специальное технологическое оборудование имеет сложные объемно-пространственные структуры, сочетающие в себе закономерности симметрии и асимметрии, статики и динамики. Структур, обладающих чистой симметрией и тем более внешней динамикой, почти не встречается. Для более рационального поиска художественно-конструкторского решения (особенно в условиях повышенных требований к типизации и унификации формообразующих конструкций) целесообразно иметь классификатор (один или несколько) возможных типовых решений формообразующих конструкций оборудования. Такие классификаторы, называемые номенклаторами, содержат всю возможную номенклатуру формообразующих конструкций оборудования или аппаратуры, составляются без строгого учета классификационных признаков конструкций и, как правило, не имеют иерархической структуры. Номенклаторы составляются для однородных по исполнению, конструкций: монтажно-сварочного оборудования, термического оборудования, РЭА и т. п. Ввиду того, что в номенклатор включаются типовые исполнения

формообразующих конструкций, номенклатор, включающий всю возможную номенклатуру и построенный на основе единого размерного ряда, становится эффективным средством поиска рационального решения формы и основой построения типажа данного оборудования.

Создаются предпосылки к стандартизации типовых элементов формы, к разработке типовых технологических процессов их изготовления, а следовательно, к повышению качества изготовления.

Приведенные инженерные и художественно-конструкторские классификации имеют большое значение для рационального формообразования оборудования и аппаратуры и помогают (при их правильном и достаточно подробном построении) проводить проектирование однородных видов изделий путем творческого поиска в системах классификации — от выбора общего теоретического направления художественного конструирования до конкретного компоновочного решения формы и типовых формообразующих конструкций.

## **6. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Одной из главных задач при конструировании оборудования является четкое определение его назначения и формирование комплекса требований к конструированию.

Ошибки, возникающие при определении первоначального назначения машины, ее места в технологическом процессе, требований и критериев, которым должны отвечать оптимальные решения конструкции, приводят к серьезным недостаткам в процессе проектирования. В этом смысле при художественном конструировании также чрезвычайно важно найти место требований технической эстетики в системе общих технических требований и место конкретной разработки в общей классификационной системе конструкций оборудования. Сложность решения этой задачи заключается в противоречивости взглядов на комплекс требований технической эстетики.

Широко распространено мнение, что требования технической эстетики относятся только к внешнему виду изделия независимо от того, идет ли речь о проектировании будущего изделия или же о его оценке. Внешний вид оборудования—отделка, эстетическая выразительность формы и т. п.— безусловно играют большую роль в обеспечении его комплексного качества, но это далеко не главные пока-

затели оптимальности решения с точки зрения технической эстетики и этим, конечно, не исчерпываются возможности и задачи художественного конструирования в проектировании. Основой требований технической эстетики является, прежде всего, сумма потребительских параметров изделий, которая разрабатывается как результат всестороннего анализа системы сложнейших связей комплексов «человек—вещь»— «вещь — среда».

Говоря об оптимальности конструкций оборудования, с точки зрения технической эстетики, нельзя рассматривать их только с чисто инженерных позиций. Необходимо рассматривать с иных точек зрения, чем в инженерном конструировании, отсюда возникает комплекс специфических требований, определяющих художественно-конструкторские особенности оборудования — его пропорциональность, метроритмическое, цветовое решение, эргономические параметры и т. п. Требования технической эстетики нельзя рассматривать в отрыве от общих технических требований, частью которых они являются. Таким образом, наиболее правильно при современном комплексном подходе к проектированию, понимать под общими техническими требованиями к конструированию оборудования комплекс функциональных, технических, технологических, эргономических и эстетических требований. Все эти требования выступают как различные стороны (признаки) комплексного качества оборудования.

В машиностроении общие технические требования условно разделяют на общие эксплуатационные требования, общие конструктивные требования, требования технической эстетики и специальные требования. Отсюда вытекают частные требования к конструкциям технологического оборудования, которые можно также разбить на четыре группы:

- 1) эксплуатационные требования;
- 2) компоновочные требования;
- 3) требования технической эстетики;
- 4) конструктивно-технологические требования.

### **6.1. Эксплуатационные требования**

Одним из важнейших эксплуатационных требований к оборудованию в современных условиях является требование обеспечения комплексной надежности. В понятие комплексной надежности в случае конструирования оборудования можно включить в основном

понятие долговечности конструкции и степень обеспечения оптимальности ее психофизиологического взаимодействия с оператором, т. е. более широко — эргономичности конструкции оборудования. Поэтому и при выборе конструкционных, декоративных, отделочных материалов для корпусов и каркасов оборудования и при определении типа их конструкции и технологии изготовления руководствуются жесткими условиями эксплуатации оборудования. Можно сказать, что взаимосвязь требований технической эстетики и эксплуатационных требований наиболее жесткая и глубокая, так как методы художественного конструирования, в значительной степени обеспечивающие высокие потребительские качества изделия, прежде всего способствуют улучшению эксплуатационных показателей оборудования.

Эксплуатационные показатели оборудования проявляются, как известно, в климатических, механических и психофизиологических (или эргономических) характеристиках. Климатические и механические характеристики определяют в основном прочность и жесткость конструкции — надежность работы комплектующих узлов и блоков, размещенных в каркасе (корпусе) оборудования, при воздействии на него внешних усилий, обеспечение устойчивости оборудования при воздействии на него вибрации и ударов; устойчивость конструкции от воздействия различных климатических факторов; длительность срока службы в условиях эксплуатации.

Эргономические характеристики (влияющие на эксплуатационные показатели) определяют оперативность обслуживания — минимальные затраты времени на подготовку оборудования к работе, быстрое выполнение рабочих манипуляций и т. п.; удобство обслуживания — легкий доступ к комплектующим узлам и блокам в условиях эксплуатации, возможность быстрого осмотра, рациональная компоновка и конструктивное исполнение устройств управления (ручки, кнопки, переключатели и т. п.) и устройств отображения информации (шкалы, экраны, табло, мнемосхемы и т. п.); безопасность обслуживания — наличие устройств заземления, блокировки, наличие аварийной сигнализации и т. п.

Кроме вышперечисленных общих эксплуатационных требований при конструировании технологического оборудования возникает и ряд специальных требований, таких, например, как требования безопасности эксплуатации различных газов, специальных жидкостей и т. п.

## 6.2. Компоновочные требования

Компоновочные требования являются едва ли не самыми основными в процессе формообразования, так как их выполнение позволяет создать стройную структуру конструкции — основу рациональной, гармоничной формы.

Эти требования также комплексны по своему содержанию. Часть компоновочных требований может быть реализована в процессе инженерного конструирования. К этим требованиям можно отнести:

- максимальное сокращение кинематических связей между узлами оборудования;

- снижение (или полное исключение) взаимных наводок между блоками и электрическими цепями междублочного монтажа, между вводами и выводами и т. п.;

- обеспечение рационального размещения и надежного закрепления комплектующих узлов и блоков;

- обеспечение эффективной принудительной или естественной вентиляции и т. п.

Другие же компоновочные требования не могут быть обеспечены в процессе чисто инженерного конструирования — они получают наиболее полное, глубокое и всестороннее выражение лишь в процессе художественного конструирования. Их целесообразно отнести к художественно-конструкторским компоновочным требованиям.

Таковыми требованиями являются рациональные габариты и вес, максимальный коэффициент заполнения, пропорциональное решение оборудования, удобный доступ к комплектующим узлам и блокам и т. п.

## 6.3. Требования технической эстетики

Требования технической эстетики в целом направлены на выявление и обеспечение художественно-конструкторских качеств оборудования, которые определяют оптимальность конструкции с точки зрения конструктивной, технологической, эстетической и эргономической.

Требования технической эстетики представляют собой комплекс социально-экономических, функционально-конструктивных,

эргономических и эстетических требований, выполнение которых должно обеспечить создание общественно целесообразного, технически совершенного, экономичного, удобного в эксплуатации и эстетически выразительного оборудования. Как видно, сам комплексный характер процесса художественного конструирования предполагает и комплексность требований технической эстетики, которые частично отнесены к компоновочным, частично к конструктивно-технологическим и другим общим техническим требованиям, с которыми они составляют единое целое. Тем не менее, можно выделить в отдельную группу и требования технической эстетики к оборудованию, которые определяют научные и практические критерии оптимальности его художественно-конструкторского решения. К общетеоретическим требованиям технической эстетики можно отнести социально-экономические требования, функционально-конструктивные требования, эргономические требования, эстетические требования.

Социально-экономические требования устанавливают оптимальную народнохозяйственную потребность в данном оборудовании, его оптимальную номенклатуру по видам и т. п. и в целом направлены на создание таких социально-экономических условий труда, которые развивали бы эстетическое отношение к процессу и результатам труда, способствовали росту производительности труда при одновременном развитии личности.

Художник-конструктор не может сам выбирать себе предмет художественного конструирования и не может заключить, что данное оборудование не нужно, данный технологический процесс можно упразднить. Процесс влияния художественного конструирования на формирование социально-экономического развития в сфере машиностроения чрезвычайно сложен и выражается в том, что под влиянием художественного конструирования происходит постоянная модернизация изделий машиностроения, отмирание в номенклатуре тех видов оборудования, которые уже не удовлетворяют эстетическим запросам, не способствуют формированию определенного эстетического отношения к процессу труда, а следовательно, не способствуют повышению его производительности. Именно так следует понимать социально-экономические требования в комплексе требований технической эстетики и оценивать степень влияния художника-конструктора на потребность в оборудовании, его номенклатуру по видам и т. п.

#### **6.4. Функционально-конструктивные требования**

Функционально-конструктивные требования представляют собой комплекс конструктивно-технологических и функциональных требований к конкретному решению конструкции оборудования (включая ее формообразование), а именно: органическая связь формы оборудования с его конструкцией, соответствие формы оборудования его функциональному назначению, технологичность формы оборудования и т.п.

#### **6.5. Эргономические требования**

Эргономические требования устанавливают функциональные возможности человека-оператора в процессе труда с целью учета этих возможностей при проектировании оборудования. Эти требования в целом сводятся к проектированию оборудования с учетом психофизиологических возможностей, биомеханических особенностей и антропометрических данных человека-оператора. Эргономические требования классифицируются на гигиенические, антропометрические, физиологические, психофизиологические, психологические. В нем показано, что гигиенические требования — эргономические требования, устанавливающие гигиенические условия жизнедеятельности и работоспособности человека при взаимодействии его с изделием. Эти условия рассматриваются как некоторые обязательные исходные условия среды в системе «человек—изделие—среда». Если учитывать, что среда образуется естественными и искусственными условиями, то гигиенические требования следует предъявлять, как к естественным условиям среды (освещенность, влажность и т. п.), так и к искусственным условиям среды (искусственная освещенность, гигиеническое состояние поверхности конструкций и т. п.). Антропометрические требования — эргономические требования, устанавливающие соответствие оборудования антропометрическим параметрам человека. Антропометрические параметры человека определяют размерное построение и форму тела человека-оператора и отдельных его частей.

## **6.6. Физиологические требования**

Физиологические требования — эргономические требования, устанавливающие соответствие оборудования физиологическим свойствам человека (например, биомеханическим, силовым, скоростным).

## **6.7. Психофизиологические требования**

Психофизиологические требования — эргономические требования, устанавливающие соответствие оборудования особенностям функционирования органов чувств (рецепторов) человека-оператора.

## **6.8. Психологические требования**

Психологические требования — эргономические требования, устанавливающие соответствие оборудования психологическим особенностям человека (особенности восприятия, памяти и т. п.).

Необходимо учесть, что при практическом проектировании не всегда целесообразно расчленять эргономические требования на рассмотренные выше группы.

К некоторым видам оборудования и аппаратуры (в зависимости от сложности конструкции, условий эксплуатации и т. п.) эргономические требования могут предъявляться не в полном объеме, а устанавливаться как частные.

## **6.9. Эстетические требования**

Эстетические требования — требования, направленные на обеспечение композиционной целостности формы оборудования, ее гармоничности и соответствия общего формообразования оборудования требованиям современного стиля.

Перечисленные общетеоретические требования технической эстетики позволяют сформулировать ряд частных требований, которые можно назвать прикладными требованиями технической эстетики. Форма оборудования оптимальна с точки зрения технической эстетики, если обеспечена: функциональность формы оборудования (соответствие формы оборудования его технической функции); эргономичность формы оборудования (удобство формы в эксплуатации для человека-оператора); высокий уровень композиционного реше-

ния формы; стилевое единство решения формы оборудования; технологичность художественно-конструкторского решения; высокое качество обработки и отделки формообразующих поверхностей.

Изложенные общетеоретические требования технической эстетики комплексны как внутри себя, так и для всего процесса проектирования (непосредственно связаны с компоновочными, конструктивно-технологическими и другими техническими требованиями). Таким образом, важно понять, что требования технической эстетики не существуют самостоятельно и не могут рассматриваться изолированно от общих технических требований — они как бы синтезируют в себе наиболее прогрессивные взгляды на данное проектируемое оборудование, являясь их логическим выражением. Требования технической эстетики связаны с конструктивно-технологическими требованиями.

### **6.10. Конструктивно-технологические требования**

Назначение этих требований — обеспечить в процессе проектирования создание совершенного конструктивно-технологического решения. Среди множества этих требований необходимо выделить взаимозаменяемость отдельных узлов и элементов конструкции; максимальную унификацию и стандартизацию оборудования (в том числе и его формообразующих элементов); функционально-блочное (модульное) построение конструкции; технологичность деталей и узлов конструкции (в том числе формообразующих элементов); рациональный выбор конструкционных и отделочных материалов и т. п.

Конструктивно-технологические требования могут рассматриваться весьма подробно и иметь те или иные характерные особенности для каждого конкретного вида оборудования.

## **7. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ХУДОЖЕСТВЕННОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ**

В основе требований технической эстетики к оборудованию и аппаратуре лежат следующие положения: оборудование и аппаратура необходимо разрабатывать на основе типологии и классификации; форма оборудования и аппаратуры должна соответствовать функ-

циональному назначению и эргономическим требованиям; при проектировании следует добиваться органической связи формы с конструкцией, учитывать технологию производства и свойства применяемых материалов; конструкция должна обладать эстетически выразительной формой, отвечающей современным требованиям стиля и композиционной целостности, и т. д.

Следовательно, речь все время идет о форме.

Ранее, в процессе проектирования, форма конструкций возникала стихийно. Сознательной целенаправленной работы над формой конструкторы не проводили. В результате упускались те или иные качества изделия, выражаемые через форму, а это в основном такие потребительские качества, как удобство эксплуатации и обслуживания, красота изделия и т. д.

Художественное конструирование как метод ставит своей целью последовательную разработку формы конструкций оборудования и аппаратуры.

Художник-конструктор стремится сделать форму изделия такой, чтобы она наилучшим образом выражала различные стороны качества изделия. При этом можно явно ощутить две теоретические базы, на которых основываются методы художественного конструирования: эргономика и связанные с ней дисциплины (если рассматривать форму будущего изделия как звено, с которым непосредственно взаимодействует оператор в системе «человек-машина»); теория композиции — теория построения эстетически гармоничных объемно-пространственных структур и общая теория эстетики (если рассматривать форму будущего изделия как эстетическую категорию). Конечно, такое рассмотрение формы весьма условно, так как оптимальная форма должна обладать комплексом качеств и одновременно служить оператору и как объект функциональный в системе «человек—машина» и как объект эстетический.

Методика художественного конструирования всесторонне раскрывает рациональное построение процесса художественного конструирования оборудования и аппаратуры. Сюда можно отнести общую структуру процесса проектирования, последовательность и распределение по времени стадий и этапов, содержание работы художника-конструктора на этих стадиях и этапах. Все эти вопросы при своем рассмотрении требуют анализа теоретической сущности процесса художественного конструирования и методов художест-

венно-конструкторского мышления, что также является важнейшей стороной методики.

Каждая новая конструкция рождается в борьбе противоречивых требований к конструкции и целесообразных и нецелесообразных решений, на основе отрицания старых конструктивных решений и путем выбора наиболее рациональных конструктивных форм, для воплощения данной идеи (наилучшего сочетания содержания и формы), в поиске оптимального варианта из числа разработанных и в стремлении к наименьшей себестоимости при наиболее высоком техническом совершенстве и надежности.

Методика должна раскрывать общее, теоретически правильное построение процесса проектирования, а не конкретные методы, используемые в проектировании.

Нельзя рассматривать методику художественного конструирования в отрыве от общей методики проектирования промышленных изделий, так как художественное конструирование существует в системе промышленного проектирования, организационно и методически проводится совместно с инженерными методами проектирования.

Рассмотрим поэтому стадии и этапы промышленного проектирования и постараемся определить стадии и этапы художественного конструирования, указав их место и взаимосвязь в общей системе проектирования.

В ЕСКД установлены следующие стадии проектирования промышленных изделий: 1) техническое задание, 2) техническое предложение, 3) эскизный проект, 4) технический проект, 5) разработка рабочей документации.

Процесс художественного конструирования тесно связан с процессом инженерного конструирования. Но эта взаимосвязь не означает проведение художественного конструирования на всех указанных выше стадиях проектирования.

На каком этапе проектирования будет привлечен художник-конструктор, зависит от предела его творческих возможностей, а значит, и полноты художественно-конструкторского решения изделия.

Круг вопросов, решаемых художником-конструктором в процессе проектирования, огромен. К ним относятся вопросы компоновки и композиционной отработки изделия, в процессе которых глубоко затрагивается техническая сущность решения (например,

построение кинематических и электрических схем), вопросы эргономики и оптимального конструктивно-технологического решения формы изделия и многие другие.

Конкретная доля участия художника-конструктора в процессе проектирования, и следовательно, наличие соответствующих этапов художественного конструирования на стадиях инженерного проектирования зависит от двух факторов: особенностей проектируемого оборудования и применяемых методов проектирования.

Особенности проектируемого оборудования определяются в целом требуемой глубиной их художественно-конструкторской проработки. Проектируется ли совершенно новое, или не имеющее аналогов оборудование, проводится ли разработка оборудования на основе широких аналогий, разрабатывается ли очередная модификация машины — все это определяет характер процесса художественного конструирования, а следовательно, его организацию и содержание. Организация и содержание процесса зависят и оттого, конструируется ли единичная модель или базовая модель типоразмерного ряда или комплект оборудования. Вопрос о том, конструируется ли серийная модель или опытная (лабораторная) модель и т. д., также существен для построения процесса художественного конструирования.

Особенности применяемых методов художественного конструирования также сказываются на построении процесса проектирования. Художественное конструирование сливается с инженерным конструированием, но это гибкий, динамический процесс, зависящий от перечисленных выше факторов.

Практика художественного конструирования в электронном машиностроении показывает, например, что выдача технического задания на разработку художественно-конструкторского проекта возможна лишь в начале стадии эскизного проектирования и дальнейшее художественное конструирование проводится на последующих трех стадиях (эскизного, технического проектирования и стадии разработки рабочей документации). Выдача технического задания на художественно-конструкторский проект на стадии технического предложения или общей стадии технического задания не имеет смысла. Это характерно для машиностроения и приборостроения вообще.

Работа, проводимая на стадии технического задания, указанная в ЕСКД, в области машиностроения, в сущности, не имеет ниче-

го общего с подготовкой технического задания на художественно-конструкторский проект. Во время работы над техническим заданием многие чисто технические вопросы проектирования еще не установлены, поэтому не могут быть сформулированы какие-либо исходные данные, для проведения художественно-конструкторской разработки. Это видно из самого содержания технического задания на опытно-конструкторскую работу. Если нет предмета проектирования, то не может быть художественно-конструкторской проработки. Этот предмет проектирования начинает вырисовываться на стадии разработки технического предложения, где основным конструкторским документом, как известно, является теоретический чертеж, поясняющий общие принципы работы данной машины, основные теоретические функции и идеи, предполагаемые к реализации в конструкции.

Вопрос о конструктивном воплощении машины на стадии технического предложения также стоит еще очень неопределенно.

Все это говорит о том, что художественно-конструкторское предложение не может быть на стадии технического предложения по ЕСКД. При любом художественно-конструкторском подходе в основе процесса формообразования должна лежать четкая техническая идея, правильный выбор конструктивной схемы оборудования.

Совершенство может быть достигнуто только в результате правильного выбора принципа действия. Сначала выбирается принцип действия и создается конструктивная схема проектируемого объекта.

В процессе формообразования могут наметиться отступления от принятой конструктивной схемы, ее уточнение, но это уже естественный рабочий процесс художественного конструирования, основывающийся на правильных технических позициях, найденных на этих этапах. Лишь к началу работы на стадии разработки эскизного проекта разработчик (совместно с инженером-конструктором) имеет основные данные для того, чтобы выдать техническое задание в художественно-конструкторское подразделение на разработку художественно-конструкторского проекта. С момента выдачи технического задания на художественно-конструкторский проект и начинается собственно процесс художественного конструирования, сливающийся с последующими стадиями промышленного проектирования. Специфика художественного конструирования предполагает проведение своих особых стадий и этапов в рамках общих стадий

промышленного проектирования. Учитывая комплексность художественного конструирования, использующего совокупность инженерно-технических, эстетических и эргономических методов, а также комплексность требований к объекту проектирования при художественном конструировании, следует отметить как основную особенность методики художественного конструирования системный подход к проектированию.

Системный подход к проектированию предполагает использование системного анализа как метода обоснования и принятия решений в процессе проектирования.

Исходной точкой системного анализа является рассмотрение процесса проектирования и объекта проектирования как систем, включающих определенное число элементов (подсистем). Суть же самого метода заключается в том, чтобы четко сформулировать конечные цели проектирования (предъявив комплекс всесторонних требований к изделию), функции как системы в целом, так и отдельных ее элементов, а затем определить пути нахождения оптимального решения.

Системный подход характерен для любой сферы проектирования, однако говорить о нем как об основной особенности методики художественного конструирования необходимо потому, что в художественном конструировании, как ни в какой другой области, проявляются многофакторность задачи создания оптимального изделия и многообразие средств и методов решения этой задачи. Системный подход—это методология рассмотрения процесса художественного конструирования, позволяющая глубже осмыслить его сущность — структуру, организацию, закономерности развития, оптимальные методы решения художественно-конструкторских задач в промышленности.

Особенно важной стороной системного подхода как методики художественного конструирования является подчинение частных, локальных целей отдельных подсистем общего процесса единой конечной цели, постоянное сопоставление альтернативных вариантов на каждом этапе проектирования и их всесторонняя оценка перед принятием каждого промежуточного решения. Методику художественного конструирования рассмотрим как схему определения общих и частных требований к изделию и постановке задачи — нахождение оптимального решения задачи — средства решения задачи.

Этапы процесса художественного конструирования представляют собой, в упрощенном виде, последовательность работы художника-конструктора над изделием во времени, хотя эта последовательность не всегда строго соблюдается, и некоторые этапы могут проводиться параллельно или совместно. Общая последовательность работы художника-конструктора именуется стратегией. Стратегия — общая структура методики художественного конструирования. По творческому содержанию решаемых задач в стратегии выделяются три крупных этапа: анализ—синтез—оценка решения. По последовательности работы художника-конструктора стратегия разделяется на три основных этапа: зарождения идеи; проектирования (проводимый на стадиях эскизного, технического и рабочего проектирования); этап внедрения проекта (авторский надзор за его исполнением).

Это присуще всем схемам построения процесса проектирования. Но такое рассмотрение этапов слишком общее и не позволяет построить строгие этапы практического процесса художественного конструирования, хотя дает представление.

Укрупненная схема методики проектирования следующая:

выявление функции изделия, исходя из потребности общества, при условии создания гармонической целостности предметного мира (в случае проектирования изделий с новой функцией);

выявление и анализ требований, предъявляемых к изделию человеком и средой в процессе эксплуатации;

разработка принципиальной схемы изделия (имеется в виду создание технической схемы, являющейся началом зарождения художественного образа изделия);

конструктивное воплощение элементов этой схемы, с последующим поиском эскизных вариантов общего художественно-конструкторского облика изделия (в процессе поиска рассматриваются и отбираются конструктивные и технологические предложения с эскизами в графике и цвете, объемной компоновкой элементов конструкции и т. д.);

выполнение уточненного проекта с целью окончательной отработки различных элементов изделий, технологии его изготовления и т. п.;

разработка рабочей документации на изделие;

изготовление опытного образца, комплексный анализ и испытание образца, корректировка документации по результатам испытания опытного образца.

По принятой в отрасли методике проводятся следующие этапы художественного конструирования.

На стадии эскизного проектирования — предварительный этап, поисковый этап, этап художественно-конструкторской компоновки, этап разработки эскизного художественно-конструкторского проекта.

На стадии технического проектирования — этап корректировки эскизного художественно-конструкторского проекта, этап отработки формы, этап подготовки технического художественно-конструкторского проекта.

На стадии разработки рабочей документации — разработка эскизных чертежей формообразующих конструкций, включая компоновочные чертежи лицевых панелей.

На стадии изготовления опытного образца — авторский надзор, корректировка художественно-конструкторской документации по результатам испытания опытного образца.

Краткое содержание работы художника-конструктора на этих этапах.

Предварительный этап или этап изучения технического задания на художественно-конструкторский проект включает в себя подробный анализ технических требований, изложенных в ТЗ, а также изучение ближайших и отдаленных аналогов и прототипов зарубежных и отечественных образцов, каталогов, проспектов, рекламных описаний, патентной информации и т. п.

Здесь художнику-конструктору необходимо ознакомиться с общим технологическим процессом комплекта, в который входит данная установка, а также с технологическим процессом на установке и принципами ее действия.

Поисковый этап заключается в поиске предварительного художественно-конструкторского решения, общего объемно-пространственного построения формы. Поиски проводятся путем эскизирования на бумаге (в графике или в цвете, в ортогональных проекциях и перспективе), объемного макетирования в мягком материале и прорисовке основных объемов в масштабе 1:1 на плазовых грифельных досках.

На этом этапе изделие еще не получает конкретного художественно-конструкторского выражения. Основываясь на принципиальных инженерных решениях, сведениях о тенденциях развития оборудования и других данных, полученных на предварительном

этапе, художник-конструктор находит общее объемно-пространственное решение, обосновывая его интуитивными пространственными представлениями о проектируемом изделии. В заключение выбирается вариант в общем виде.

Этап художественно-конструкторской компоновки — важнейший и определяющий этап художественного конструирования, так как именно на этом этапе, являющемся началом формообразования, строится скелет будущей формы. Успех в его построении и определит дальнейшее формообразование изделия.

На этапе разработки эскизного художественно-конструкторского проекта подготавливают эскизный проект оборудования или аппаратуры на основании выбранного эскизного компоновочного варианта.

Эскизные варианты внешнего вида оборудования прорабатываются на бумаге и в макетах. Затем выбирают лучший вариант. Этап заканчивается подготовкой эскизной художественно-конструкторской документации для защиты эскизного проекта.

На стадии технического проектирования этапы художественного конструирования имеют следующее содержание.

На этапе корректировки эскизного художественно-конструкторского проекта эскизное художественно-конструкторское решение, принятое на защите эскизного проекта, доводится до рабочего проекта с учетом уточненных технических и технологических требований, возникающих на стадии технического проектирования.

Эскизное художественно-конструкторское решение оборудования приближается к требованиям производства и корректируется с точки зрения технологии. При этом прорабатывается окончательная художественно-конструкторская компоновка оборудования и аппаратуры, его эргономическое и цветовое решение.

Этап отработки формы заключается в критическом анализе художественно-конструкторских элементов формы на соответствие их требованиям пропорциональности и другим категориям композиции. Конкретную документацию на этом этапе не подготавливают, однако в результате анализа исключают недостатки формообразования, возникающие на предыдущих этапах.

Этап подготовки технического художественно-конструкторского проекта заключается в систематизации художественно-конструкторских решений, найденных на предыдущих этапах, и подготовке окончательной рабочей и проектной художественно-

конструкторской документации в полном объеме. Объем и вид рабочей и проектной документации определяется выбором методики процесса проектирования и характером проводимых разработок.

На стадии разработки рабочей документации художники-конструкторы участвуют в разработке конструкторской документации, давая конкретные предложения по решению формообразующих элементов, элементов лицевых панелей и визируют конструкторскую документацию.

На стадии изготовления опытного образца на этапе авторского надзора наблюдают за тем, чтобы оборудование изготавливалось в соответствии с разработанным художественно-конструкторским проектом. На этом этапе художник-конструктор контролирует и визирует приказы на ее изменение и контролирует качество обработки и отделки поверхностей в производстве.

На этапе корректировки художественно-конструкторской документации по результатам испытания опытного образца проводят частичное изменение художественно-конструкторского проекта.

Анализ сущности работы художника-конструктора на рассмотренных выше стадиях и этапах позволяет наметить тактику художника-конструктора в работе над оборудованием. Тактика работы может быть сформулирована как совокупность распределенных по этапам проектирования основных методических принципов проектирования с указанием путей и средств художественно-конструкторского решения.

Можно выделить следующие узловые пункты тактики работы при художественно-конструкторской разработке: художественно-конструкторский анализ; формулирование общих и частных требований к оборудованию; художественно-конструкторские поиски объемно-пространственной структуры оборудования в целом; художественно-конструкторские поиски композиционного решения структуры оборудования по частям; художественно-конструкторский и конструктивно-технологический синтез решения; разработка проектной художественно-конструкторской документации.

Приведенные пункты являются лишь организующими методическими звеньями в работе и ничего не говорят о том, каковы должны быть средства и приемы проведения работ.

## **8. ОРГАНИЗАЦИЯ МАКЕТНЫХ РАБОТ В ПРОЦЕССЕ ХУДОЖЕСТВЕННОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ**

Особое значения для развития методов художественного конструирования имеет объемное макетирование.

Применение методов объемного макетирования не просто путь повышения экономической эффективности проектирования, но и важнейшее средство творческого решения вопросов создания оптимальных объемно-пространственных структур, эргономических решений и т. п.

Многие аспекты объемного проектирования еще требуют своего подробного рассмотрения. На практике проектирования сказывается отсутствие общей классификации методов макетирования, основных определений и понятий в этой области и т. п. Требуют своего решения и вопросы организации макетных работ.

Практика применения методов макетирования при художественном конструировании радиоэлектронной аппаратуры и оборудования электронной промышленности позволяет сделать некоторые обобщения, сформулировать некоторые принципы методов макетирования в художественном конструировании.

Макетные методы в художественном конструировании можно условно разделить на две большие группы: проектировочные методы и демонстрационные методы.

Проектировочные методы помогают найти оптимальные компоновочные, эргономические и композиционные решения в процессе художественного конструирования.

Демонстрационные методы позволяют выявить художественно-конструкторские достоинства изделия путем полной имитации внешнего вида в различных макетах. Прежде чем подробно остановиться на содержании и особенностях этих методов, установим некоторые определения и понятия в области макетирования.

Макет — объемное, масштабное изображение изделия.

Проектный макет — объемное, масштабное изображение проектируемого изделия, созданное с целью проверки проектного решения.

Поисковый макет — вид проектного макета упрощенного исполнения, применяемый для выявления общих компоновочных и композиционных решений изделия.

Посадочный макет — макет в натуральную величину, применяемый для определения оптимальности эргономического решения изделия путем исследования основных эргономических характеристик оператора и воспроизведения его функциональных действий при посадке за макет.

Рабочий макет — макет, созданный на стадии рабочего проектирования с целью проверки функционирования сложных узлов.

Демонстрационный макет — макет изделия с полным детальным показом особенностей художественно-конструкторского и конструктивно-технологического решения.

Особенности проектировочных методов макетирования в дизайне определяются в целом задачей, которую ставит перед собой проектант, и характером макетов, которые он использует при этом. Основным видом макетов, которые наиболее широко применяются при формировании художественно-конструкторского решения изделия, являются поисковые проектные макеты. Изготовление поисковых макетов преследует следующие цели: проверить в объеме правильность размерного решения формы; проверить целесообразность компоновки основных узлов и блоков.

По характеру своего исполнения в зависимости от указанного выше назначения поисковые макеты могут быть глухими и объемно-разрезными (или разборными).

Глухие макеты изготавливаются для проверки общего формообразования оборудования и могут быть в простейшем случае просто кубиками — основными объемами, из которых складывается общая объемно-пространственная структура изделия.

Объемно-разрезные макеты изготавливаются для выявления оптимальности компоновки комплектующих узлов и блоков. Они изготавливаются с показом внутреннего разреза конструкции или из разбирающихся на составные части конструктивных элементов.

Поисковые макеты изделий изготавливаются, как правило, в масштабах 1:10 и 1:6.

Материалами для них могут служить бумага, пластилин, дерево, оргстекло и т. п. в зависимости от сложности проектируемого оборудования и общей организации процесса проектирования.

При разработке оборудования с достаточно сложной объемно-пространственной структурой поисковые макеты целесообразно изготавливать в специальных макетных мастерских по эскизам, подготовленным художниками-конструкторами. Несложные поисковые

макеты изготавливаются непосредственно художниками-конструкторами на стадии эскизного проектирования из пластилина или бумаги.

Объемно-разрезные макеты, как правило, всегда изготавливаются макетчиками.

Ответственным видом проектных макетов являются посадочные макеты в натуральную величину, которые являются наиболее эффективным средством проверки общего композиционного и эргономического решения.

В художественном конструировании отработка компоновочного решения осуществляется в основном с помощью различных поисковых макетов, а посадочные макеты обычно служат своеобразным экспериментальным средством оценки эргономического и композиционного решения на заключительных этапах стадии эскизного проектирования. Посадочный макет при этом выполняется для уже выбранного варианта формы изделия с принципиально решенной компоновкой.

Посадочные макеты выполняются, как правило, из дерева, оргстекла с требуемой окраской и отделкой поверхностей. Но они могут отделяться и одноцветно: оклеиванием бумагой или общей окраской.

Рабочая зона оператора в поисковом макете должна выполняться, как на реальном изделии, с реальными органами управления, реальной нагрузкой на них и т. п.

При исследовании посадочного макета могут быть сделаны серьезные замечания по размерному и компоновочному решению конструкций, которые учитываются на стадии технического проектирования.

Демонстрационные методы применяются и на стадии технического проектирования. Обычно на защиту технического проекта вместе с комплектом художественно-конструкторской документации представляется демонстрационный макет изделия. При проектировании базовых моделей изготовление демонстрационных макетов является обязательным.

Демонстрационные макеты выполняются, как правило, в масштабе 1:5, но в отдельных случаях они могут быть выполнены и в масштабе 1:1. Материалами для изготовления демонстрационных макетов служат обычно оргстекло и металл.

Демонстрационные макеты полностью воспроизводят художественно-конструкторское решение изделия с полной имитацией конструкционных и отделочных материалов. Демонстрационный макет становится как бы эталоном художественно-конструкторского решения данной модели.

Макетные работы проводятся, как правило, специальным макетным подразделением, хотя отдельные виды поисковых проектных макетов могут выполняться непосредственно художниками-конструкторами из бумаги, пластилина, гипса и т. п.

Макетная мастерская структурно входит в состав художественно-конструкторского подразделения и подчиняется его начальнику. Планирование художественно-конструкторских и макетных работ при этом осуществляется взаимосвязано. Технологический процесс изготовления макетов как проектных, так и демонстрационных имеет существенные отличия от процесса изготовления обычных промышленных изделий и не всегда отвечает строгим законам технологии — изменяется в зависимости от вида макетов, конструкционных материалов и методов изготовления.

В технологическом процессе можно выявить ряд характерных этапов: выбор материалов для исполнения макета — подготовительный этап; разметка и раскрой материалов —заготовительный этап; изготовление деталей макета, включая все виды обработки — этап основного изготовления; склеивание (сборка) и предварительная обработка формообразующих поверхностей макета — этап предварительной сборки; отделка макета (шкурровка, покраска, полировка и т. п.) — этап отделки; полный монтаж макета (сборка элементов информационных панелей, кинематических узлов и т.п.) — этап окончательной сборки.

Все эти этапы полностью прослеживаются при изготовлении сложных макетов и некоторые из них могут отсутствовать при изготовлении простых проектных макетов (например, «глухих» поисковых макетов).

В процессе изготовления макетов макетчик сталкивается со всевозможными конструктивно-технологическими задачами, которые решает самостоятельно или совместно с художником-конструктором. Макетчик часто выступает при этом не только как исполнитель, но и как соавтор разработки, внося множество ценных предложений по исполнению отдельных формообразующих элементов, окраске и отделке, существенно улучшающих качество художе-

ственно-конструкторской разработки. Проектирует и изготавливает он самостоятельно и всевозможную технологическую оснастку, приспособления, необходимость в которых возникает при изготовлении макетов.

Характер работы предъявляет особые требования к квалификации макетчиков. Макетчик — многогранный специалист: он должен работать на разнообразном металлообрабатывающем оборудовании, знать столярное дело, свойства и особенности применяемых материалов и т. п.; малярное дело — свойства эмалей и красок, межоперационные интервалы выдержки времени, дефекты лакокрасочных покрытий. Все это также составляет часть его квалификации.

Особенности макетных работ требуют специфического оснащения макетного подразделения, которое по сути дела должно быть самостоятельным (в технологическом отношении) опытным производством с замкнутым циклом.

Необходимо отметить, что в зависимости от вида проектируемых изделий макетные методы, безусловно, меняются, приобретая большую специфику, но сущность этих методов остается одна — обеспечить наилучшие условия для поисков оптимальных художественно-конструкторских решений.

## **9. ХУДОЖЕСТВЕННО-КОНСТРУКТОРСКИЙ АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ**

Анализ как творческий подход к решению поставленных задач сопровождает весь процесс художественного конструирования. В отличие от анализа, сопутствующего выбору решений в процессе проектирования, этот анализ, проводимый на предварительном этапе стадии эскизного проектирования можно считать предварительным анализом.

Процесс конструирования всегда основывается на предварительном критическом анализе всех уже известных изделий аналогичного назначения и последующем синтезе, вбирающем в себя все лучшее из предшествующих конструктивных решений и содержащем некоторые элементы технической новизны. В известных пределах конструктор свободен в выборе конструктивных и художественных форм. Новое содержание не всегда требует принципиально новой конструктивной формы. Эффект новизны во многих случаях

достигается новой компоновкой или новым функциональным использованием уже существующих и применяемых в других изделиях схем, узлов и деталей.

Отсутствие полноценного художественно-конструкторского анализа как прочного фундамента последующего процесса проектирования может привести к тому, что художник-конструктор с самого начала может пойти по неверному пути, так и не определив оптимального пути решения задачи. Недостатки работы на этапе анализа отрицательно сказываются на последующем процессе — затягивается поисковый этап и этап художественно-конструкторской компоновки, увеличивается общая трудоемкость проектирования за счет доработок и возврата к ранее найденным решениям.

Художественно-конструкторский анализ охватывает различные аспекты: конструктивно-технологический, эргономический, эстетический и экономический. Таким образом, на этом этапе в общем случае проводятся технико-экономический и социальный анализ оборудования, функциональный анализ оборудования, структурный анализ формы оборудования, технологический анализ оборудования, эргономический анализ оборудования, эстетический анализ оборудования.

Технико-экономический и социальный анализ по праву ставится на первое место, так как первый вопрос, который необходимо решить в процессе анализа — целесообразно ли проектирование данного оборудования с точки зрения технической, экономической, социальной, технологической и т. п.

Этот анализ действительно имеет первостепенное значение для сферы проектирования товаров народного потребления, где художнику-конструктору может принадлежать решающее мнение о целесообразности проектирования изделия. В сфере машиностроения художник-конструктор не определяет структуру оборудования, его номенклатуру по видам, не определяет целесообразность проектирования данной машины с точки зрения современного уровня технологии, как это может быть при разработке товаров народного потребления. Тем более он не определяет для себя объекта проектирования. Это происходит, с одной стороны, потому, что технологические процессы в электронной промышленности достаточно сложны и оценка их технической сущности возможна лишь при высокой специальной квалификации, которой художник-конструктор обладать, естественно, не может. Кроме этого, формирование структуры технологиче-

ского оборудования и его номенклатуры по видам в электронной промышленности определяется потребностью развития электронной техники, успехами физико-химических наук в электронной технике и т. п., а художник-конструктор естественно далек от научных проблем электронной техники.

Для разработчика и конструктора технико-экономический и социальный анализ заключается в выявлении следующих трех основных вопросов: какой технический уровень предполагается в данной разработке по отношению к отечественным и зарубежным аналогам и прототипам; является ли технологический процесс на проектируемом оборудовании оптимальным с точки зрения экономики и производительности; будет ли являться проектируемая машина морально устойчивой по сравнению с аналогичными моделями и т. п. Для художника-конструктора в сфере электронного машиностроения он заключается в условном выявлении степени влияния технического уровня машины на психологическое отношение оператора к данной машине, к своему труду.

Работа на морально устаревшем оборудовании порождает у оператора чувство неполноценного использования своих способностей, возможностей, умственных и духовных сил, вследствие наличия машин новых конструкций, более производительных, удобных, экономичных. Оператор видит, что на новых машинах увеличение производительности труда и качества изделий достигается за счет более совершенной конструкции машины, более совершенного технологического процесса, а не за счет повышения мускульной нагрузки и интенсификации его труда.

Социальный анализ проводится художником-конструктором совместно с инженерно-техническими специалистами методом опроса операторов, работающих на аналогах и прототипах с составлением соответствующих опросных листов. Объективность оценки на основе опросных листов определяется как количеством необходимой статистической информации, так и правильностью подбора вопросов — тестов в опросном листе.

Этим ограничивается социально-экономический анализ при разработке модификаций технологического оборудования, имеющего, как правило, множество аналогов и прототипов. При разработке типажей оборудования, социально-экономический анализ имеет другое содержание и предусматривает анализ удельных технико-экономических характеристик, позволяющих выявить тенденции

развития и создать перспективный размерно-параметрический ряд типажа оборудования данного вида. Такими удельными характеристиками могут быть отношения параметров типа: стоимость / рабочий объем, стоимость / мощность, мощность / площадь и т. п.

Функциональный анализ, проводимый художником-конструктором на предварительном этапе, до настоящего времени не занял должного места в творческом процессе.

В электронном машиностроении, где функциональные (технологические) процессы, протекающие в оборудовании, достаточно сложны, это проявляется весьма ярко. Художнику-конструктору подчас бывает трудно вникнуть в сложные функциональные взаимосвязи в оборудовании, и функциональный анализ подчас сводится к ознакомлению (часто поверхностному) с принципами работы оборудования. Но это не должно быть ознакомлением, это должен быть глубокий анализ, который помог бы вникнуть в техническую сущность оборудования настолько, чтобы была возможность представлять функциональные компоновочные схемы оборудования при поисках рационального формообразования, обосновывать их достоинства и недостатки. Это поможет найти форму, наиболее оптимально отвечающую технической функции.

Функциональная целесообразность как основное качество формы относится к числу основных задач, решаемых в процессе формообразования. Соответствие формы функции может быть обеспечено лишь в том случае, если художник-конструктор полностью уяснит себе технологический процесс, протекающий на данном оборудовании, и особенности конструктивного решения оборудования данного вида. Особое место при анализе должно уделяться определению механизмов и узлов, непосредственно обеспечивающих самостоятельную техническую функцию оборудования, — они и должны стать главными в формировании структуры будущей формы. Так, например, в вакуумном напылительном оборудовании одним из центров композиции является вакуумная камера, в которой протекает процесс напыления; в монтажно-сборочном оборудовании центром композиции является система предметный стол — проектор и т. п.

На основе анализа функциональных принципов действия будущей машины и выделения ее главных механизмов и узлов, художник-конструктор может установить главный компоновочный объем будущей формы и установить их взаимосвязь с кинематической схе-

мой и между собой. В дальнейшем они становятся композиционными центрами оборудования.

Функциональный анализ чрезвычайно сложен при проектировании оригинального оборудования: когда нет возможности оценить функциональные стороны аналогов и прототипов и можно базироваться только на структурах и блок-схемах процесса или на теоретических чертежах предполагаемого решения.

Структурный анализ конструктивной формы направлен на поиск наиболее оптимальной взаимосвязи кинематической и общей компоновочной схемы оборудования с его конструктивным решением. Он позволяет выявить наиболее простые и логичные пути конструктивного построения оборудования, которые наилучшим образом отвечают кинематической схеме, рациональной компоновке, минимальным кинематическим и электрическим связям и т. п.

Он помогает установить структуру конструкции — наличие несущих, компоновочных, формообразующих элементов конструкций, их принципиальный вид, а также характер их конструктивной взаимосвязи при формообразовании. Изучение аналогов и прототипов с точки зрения конструктивной структуры формы позволяет достаточно точно установить конструктивную структуру, которая практически берется за основу при разработке художественно-конструкторской компоновки и последующих решений. Структурный анализ особенно важен, при разработке художественно-конструкторских типажей оборудования, так как позволяет правильно выбрать конструктивные модули и выявить закономерности их развития по рядам типоразмеров оборудования.

Технологический анализ оборудования, проводимый на стадии эскизного проектирования, предполагает анализ совместно с разработчиком типовых технологических процессов на данном оборудовании; формообразующих, декоративных и отделочных материалов на технологичность; технологической оптимальности тех или иных конструктивных решений формы, предполагаемых к разработке; анализ совместно с ведущим технологом разработки типовых технологических процессов изготовления аналогичного оборудования.

На стадии технического проектирования предполагается анализ конструктивной и технологической преемственности формообразующих конструкций, их взаимозаменяемости и простоты; анализ и выбор наиболее целесообразных способов изготовления дета-

лей (литье, штамповка, и т. п.); анализ возможностей изготовления формообразующих конструкций на универсальном оборудовании с применением имеющейся оснастки (штампов, пресс-форм, режущего и мерительного инструмента); анализ возможностей организации централизованного изготовления формообразующих и декоративных элементов (при проектировании крупносерийного оборудования).

На рабочей стадии предполагается инспекция совместно с ведущим технологом конструкторской документации на технологичность.

Эргономический анализ играет в электронном машиностроении особую роль. Технологическое оборудование в электронном машиностроении чрезвычайно разнообразно с точки зрения эргономических требований, предъявляемых к нему. Одни виды, например диффузионные печи, не требуют прямого участия оператора в технологическом процессе, другие виды, например монтажно-сборочное оборудование, представляют собой сложные системы «человек — машина», где роль оператора в надежности и качестве работы системы исключительно высока. При эргономическом анализе технологического оборудования данного вида исследуются основные вопросы: степень автоматизации оборудования; место и роль оборудования и оператора в технологическом процессе, частота выполнения и требуемая точность рабочих операций, выполняемых оператором, степень ответственности операций, проводимых на оборудовании; характер рабочего режима оператора в течение рабочей смены. При этом учитываются особенности эксплуатации оборудования, такие как микроклимат производственного помещения, в котором предполагается эксплуатировать оборудование, особенности планировки оборудования на производственном участке и т. п.

Основным из вопросов является степень автоматизации оборудования и его место в технологическом процессе. Действительно, проектируется ли оборудование с ручными операциями, механизированное, полуавтоматическое или автоматическое — именно это в принципе определяет подход к его эргономическому решению. Например, монтажно-сборочные столы тщательно отрабатываются с точки зрения эргономики, так как оператор в течение смены выполняет ручные и механизированные операции в положении сидя. При эргономическом анализе, вначале устанавливают место проектируемой машины в общей системе классификации оборудования по эргономическому признаку. Такая классификация позволяет установить

антропометрические требования к оборудованию, тип рабочего места, психофизиологические и конструктивные требования к нему.

В результате этого анализа устанавливаются габариты оборудования с точки зрения антропометрии и биомеханики; границы рабочего места в целом и границы оперативных рабочих зон. Анализ места и роли оборудования в технологическом процессе, анализ операций, проводимых на нем, позволяет затем установить целый ряд конкретных эргономических связей, необходимых для последующего проектирования: требования к квалификации операторов, возможность и необходимость изменения рабочих поз оператора, объем и качество оперативной информации, выносимой на лицевые панели, и т. п.

Методы эргономического анализа чрезвычайно разнообразны и выбираются в зависимости от сложности анализируемого объекта и требуемой глубины анализа.

При проектировании модификаций оборудования на основе аналогов и прототипов, проводят зарисовки рабочего места, в отдельных случаях составляют биомеханические карты, на которые заносят движения оператора за рабочую смену или в единицу времени. Такие карты составляются редко, так как оборудование электронной промышленности, как правило, не предусматривает сложных биомеханических движений оператора и тем более их насыщенность в единицу времени. При проектировании полуавтоматического монтажно-сборочного оборудования, при высокой степени точности и быстроты рабочих операций полезно в анализ включить кинограмму работы оператора на аналогах на серийных заводах. Она позволит выявить зоны наибольшего оперативного насыщения, выяснить, насколько совершаемые операции соответствуют естественным движениям человека, определить рабочий ритм оператора, характерные ошибки и т. п. Широко распространенным является метод опроса операторов, работающих на аналогичном оборудовании, а также метод построения аналитических циклограмм. Несмотря на ценность и простоту метода опроса, к нему следует относиться с осторожностью. Фактор привычки оператора, субъективизм в оценках очень сильны. Они мешают оператору осознать неудобства в работе. Поэтому данные опроса следует сравнивать с объективными данными, представляемыми социологией, анатомией, антропометрией, биомеханикой, физиологией и т. д. При разработках базовых моделей обо-

рудования анализ аналогов должен проводиться объективными методами.

Эстетический анализ складывается из анализа объемно-пространственной структуры; тектоники; гармоничности формы и цветового решения. Он предполагает анализ достоинств конкретного объекта (аналога или прототипа) в отличие от других видов анализа — социально-экономического, функционального, эргономического, которые могут носить характер общих предварительных исследований. Выводы об эстетическом уровне аналога или прототипа во многом подготавливаются всем предыдущим ходом художественно-конструкторского анализа: функционального, структурного, эргономического, технологического и т. д. Вместе с тем эстетический анализ — это весьма специфический анализ, требующий знания основ теории. Композиции, тенденций формообразования и стиля, чувства материала, цвета, профессионального художественного вкуса и т. д. Правильно решенные объемно-пространственная структура и тектоника в целом обеспечивают достаточный эстетический уровень оборудования при последующем проектировании. Эстетический анализ оборудования и аппаратуры целесообразно начинать именно с анализа объемно-пространственной структуры и разбора ее тектоники, придерживаясь при этом известного принципа: от общего к частному.

Результатом схемы такого анализа может быть: вскрытие особенностей объемно-пространственной структуры, в соответствии с ее функциональными особенностями, определение ведущего формообразующего принципа — симметричное или асимметричное, динамичное и статичное решение; установление общей динамики формы, направленности масс (объемов); изучение композиционной иерархии элементов структуры, взаимосвязи отдельных объемов, определение акцента, главных и второстепенных элементов; оценка информативных свойств формы; изучение основных формообразующих элементов; соответствие формы конструктивно-технологическим особенностям применяемых материалов. Переходя после такого анализа объемно-пространственной структуры оборудования к анализу частных композиционных характеристик аналога или прототипа, нет смысла тщательно изучать и давать подробную оценку его метроритмических, масштабных, контрастно-нюансных и других достоинств и недостатков.

Это более характерно для экспертной оценки готового образца. Здесь же важно установить общие недостатки (или достоинства) гармонизации формы, если общая структура формы аналога или прототипа рациональна и заимствуется при новом проектировании. Если же общая объемно-пространственная структура формы аналога или прототипа отвергается как неверная, изучение ее композиционных достоинств или недостатков, за исключением учебно-методических случаев, не имеет смысла. Схему эстетического анализа можно принять как основу лишь для экспертной оценки эстетического уровня образцов, а не как схему анализа на предварительном этапе проектирования. Смысл композиционного анализа на предварительном этапе принципиально отличен от композиционного анализа уже готового изделия при экспертной оценке.

Изложенное выше характерно при проектировании оборудования и аппаратуры, имеющих аналоги и прототипы. При проектировании же принципиально новых видов оборудования, что часто имеет место в электронном машиностроении, значение и возможности эстетического анализа еще более сужаются ввиду практического отсутствия предмета анализа.

Методы проведения всех рассмотренных выше аспектов художественно-конструкторского анализа могут быть различными: это составление «поверочных листов» — перечня обширных проблем, подлежащих решению в данной разработке; ознакомление по различным источникам (каталогам, проспектам, патентным материалам) с существующим уровнем решения данного оборудования, выявление тенденций развития конструкций; подбор и классификация действующих аналогов проектируемого оборудования и общих технических требований к нему; составление «опросных листов» — систематизация статистических данных об эргономических и эстетических достоинствах предполагаемого решения или данных об эргономических и эстетических требованиях к проектируемой установке; составление циклограмм технологических процессов работы оборудования и оператора.

Одни методы анализа могут основываться на информационных источниках, а другие требуют сбора большого количества практических статистических данных на серийных и опытных заводах среди операторов, эксплуатирующих данное оборудование, и даже проведения различных экспериментов — хронометража рабочих операций для построения циклограмм, съемки кинограмм и т. п.

Для некоторых видов оборудования достаточно проведения анализа одним из методов, другие требуют применения комплекса методов для получения достоверных данных. Естественно, что выбор метода анализа определяется и степенью разработки данной проблемы, наличием аналогов и т. п. Все перечисленные методы относятся к качественным методам анализа.

Особую трудность представляет художественно-конструкторский анализ при разработке типажей. Здесь важно определить наряду с обычными данными анализа основные тенденции развития параметров (компоновочных, конструктивно-технологических, эргономических и эстетических) для построения размерно-параметрического ряда. Наилучшие результаты при решении этих вопросов дает вероятностно-статистический подход и установление корреляционных связей между параметрами. Исходные данные анализа следует тщательно проверять, так как в обычных статистических данных могут быть случайные величины или явления, ошибки выборки и т. п. В этом смысле, для обеспечения однородности исходной информации и большей достоверности, целесообразно оперировать удельными характеристиками — отношениями параметров, а не самими параметрами. Удельные характеристики с высокой степенью достоверности позволяют судить о тенденциях развития оборудования. Такие удельные характеристики, как масса/общий объем; мощность/площадь; мощность/рабочий объем могут раскрывать тенденции компоновочных решений данного оборудования; характеристики типа: габаритные размеры/рабочий объем; высота оборудования/ширина оборудования могут раскрывать пропорциональные решения формы и т. п.

После выбора удельных характеристик для анализа строят графические зависимости удельных характеристик, по которым прогнозируют те или иные параметры оборудования для построения типажя.

## **10. КОМПОНОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Общей компоновкой оборудования и аппаратуры является относительное расположение комплектующих изделий и узлов в пространстве и на плоскости с учетом комплекса технических, эксплуатационных и эргономических требований.

Разрабатывая компоновочные схемы, оборудования стремятся найти такое расположение комплектующих узлов и блоков, при котором достигаются наибольшие удобства доступа к комплектующим узлам и блокам в производстве и эксплуатации, наивысший коэффициент использования объема, меньшие габаритные размеры, возможность конструктивного решения оборудования в виде стандартных модулей (агрегатов, блоков и т. п.).

Часто художника-конструктора привлекают к разработке проекта тогда, когда компоновка оборудования в целом уже решена инженером. Роль художника-конструктора при этом сводится к конструированию внешнего корпуса (каркаса), отысканию чисто внешних эстетических показателей формы и приданию оборудованию современного стилового решения. В этом случае художник-конструктор работает на стадии эскизного проекта с внешней оболочкой, у которой габариты и форма уже предопределены завершенной компоновочной схемой и кинематическими связями в оборудовании. Часто она же (а не соображение эргономики) диктует художнику-конструктору и компоновку лицевых панелей оборудования, так как он вынужден привязываться к уже скомпонованным элементам, выходящим на лицевую панель. Если привлечь художника-конструктора к активной компоновке комплектующих узлов и блоков оборудования на начальных этапах стадии эскизного проектирования, недостатки такого подхода могут быть устранены. Необходимо участие художника-конструктора на этапе компоновки оборудования и аппаратуры. Таким образом, понятие процесса проектирования как комплексной сферы, в которой должны органически сливаться элементы инженерного и художественного конструирования, в равной мере можно отнести и к процессу компоновки. В этом смысле в процессе компоновки можно выделить два специфических аспекта: инженерный и художественно-конструкторский. Работа в этих двух аспектах, хотя и направлена в конечном счете к одной общей цели — созданию оптимального изделия, отвечающего современным техническим и эстетическим требованиям, но в самом процессе проектирования решает различные задачи.

При рассмотрении компоновки в инженерном аспекте главной задачей является правильно скомпоновать комплектующие узлы и блоки оборудования в соответствии с требованиями технического задания для наилучшего выполнения технической функции оборудования. При этом главным образом учитываются вопросы обеспече-

ния кратчайших кинематических и электрических связей, обеспечение минимальных паразитных связей между узлами и блоками и средой, взаимного влияния их друг на друга, исключения действия полей на комплектующие изделия и т. п. Обеспечиваются также оптимальные тепловые режимы, защита комплектующих узлов и блоков от динамических воздействий.

Перечислим некоторые основные принципы оптимизации инженерной компоновки оборудования и аппаратуры: наиболее тяжелые комплектующие механизмы, узлы и блоки помещаются на нижнюю часть каркасов, рам и других несущих конструкций; центр тяжести скомпонованных элементов должен совпадать с геометрическим центром тяжести корпуса оборудования; компоновку целесообразно формировать, начиная с габаритных комплектующих узлов и блоков, а также элементов, выходящих на лицевую панель; начиная компоновку, целесообразно установить запретные зоны и определить зону компоновки лицевой панели. Как видно, это в основном чисто технические вопросы, которые можно решать, рассматривая компоновку в инженерном аспекте.

Такие важные вопросы, как взаимосвязь компоновки с формообразованием оборудования, пропорции оборудования и аппаратуры, нахождение правильных композиционных и компоновочных связей в общей структуре формы оборудования и т. п., могут быть достигнуты лишь при рассмотрении компоновочных задач с художественно-конструкторской точки зрения. В процессе художественно-конструкторской компоновки решаются и вопросы композиции лицевых панелей с учетом принципов эргономики, а также в значительной степени и вопросы удобства доступа к комплектующим элементам в процессе эксплуатации оборудования.

В художественно-конструкторском аспекте можно считать компоновку и композиционное решение оборудования единым неразрывным процессом, рассматривать который отдельно можно лишь в методическом плане, так как компоновка формы (с точки зрения ее рационального соотношения с комплектующими изделиями) одновременно подчиняется общей композиционной идее, положенной в основу формообразования. Компоновочные объемы (с технической точки зрения) служат в оборудовании одновременно и композиционными объемами.

В электронном машиностроении основной специфической особенностью является строгая зависимость размерного и конструкторского

тивного решения главного компоновочного объема и его расположения в общей структуре от функциональных особенностей технологического процесса. В одних случаях он определяется расчетным путем, в других случаях его определить вообще невозможно, так как основу структуры форм составляют функциональные механизмы и узлы. Это значительно усложняет последующую компоновку и композиционную отработку формы, так как в компоновочном объеме, который должен являться логичным центром композиции, трудно установить эстетические черты центра композиции — его метроритмические особенности, форму, объем и т. п., которые были бы ведущими признаками для всей формы в целом. Поэтому приходится строить форму либо на принципе контраста в решении функционального главного объема и формы в целом, либо на принципе создания нескольких (как правило, двух композиционных, лучше оказать, компоновочных) центров — функционального и эстетического.

На этапе компоновки, когда закладываются основы будущей формы, сотрудничество художника-конструктора и инженера-разработчика весьма сложно и может по-разному определять как функциональные и конструктивные, так и эстетические и эргономические достоинства оборудования.

Оптимальное объемно-пространственное решение формы оборудования и аппаратуры, эстетическая гармония формообразования могут быть достигнуты только в результате комплексного инженерного и художественно-конструкторского подхода к компоновке. Возникает вопрос о том, как должны взаимодействовать между собой два аспекта компоновки — художественно-конструкторский и инженерный.

Художник-конструктор должен, на основе художественно-конструкторского анализа комплектующих узлов и блоков оборудования, особенностей его работы и т. п. строить свою, художественно-конструкторскую компоновку, работая над ней совместно с инженером-конструктором, получая от него сведения о влиянии внутренних и внешних технических факторов и заранее ориентируя себя на оптимальное эргономическое и эстетическое решение формы. Прежде должна быть выбрана конструктивная схема и принцип действия оборудования, что и проводится на стадии технического предложения. Именно эти два технических компонента обеспечивают при правильном выборе оптимальность оборудования при дальнейшей художественно-конструкторской разработке.

Иногда художественно-конструкторская компоновка может основываться на инженерной. В этих случаях художник-конструктор, принимая инженерную компоновку в целом, проводит лишь художественно-конструкторскую компоновку комплектующих изделия, выходящих на лицевые панели оборудования.

Существуют три основных принципа художественно-конструкторской компоновки технологического оборудования и аппаратуры (по аналогии с инженерной компоновкой): централизованная однообъемная; централизованная многообъемная; децентрализованная.

Централизованная однообъемная компоновка применяется главным образом при компоновке приборов и оборудования в настольном исполнении, а также для настольных устройств оборудования и в отдельных случаях для приборных пультов, шкафов и стоек. Она позволяет получать форму изделия, обладающую однообъемностью и целостностью. Этот способ компоновки возможен лишь для изделий, выполняющих единую, общую «централизованную» функцию. Однако внутри корпуса компоновка таких изделий может выполняться в виде совокупности отдельных функциональных узлов и блоков. Поэтому определение «централизованная» и «децентрализованная» компоновка с точки зрения художественного конструирования соответствует общему, объемно-пространственному решению изделия, а не характеру построения самих функциональных узлов.

При централизованной многообъемной компоновке оборудования и аппаратуры все элементы оборудования хотя и располагаются в единой конструктивной (художественно-конструкторской) системе в каркасах, рамах, шкафах, стойках и т. п., но имеют ярко выраженные, зрительно обособленные компоновочные объемы. Оборудование с централизованной компоновкой удобно в ремонте и эксплуатации, относительно просто может решаться с точки зрения композиции. Однако оно обладает рядом недостатков, которые в основном сводятся к следующему: усложняются несущие конструкции, компоновочная схема требует более тщательной экранировки и обладает относительно меньшей надежностью при выходе из строя общих вспомогательных систем: охлаждения, защиты, питания и т. п.

Децентрализованный способ компоновки оборудования характеризуется тем, что отдельные элементы устанавливаются в конструктивно обособленных объемах, шкафах-контейнерах и стойках и т. п. Таким образом, вся система состоит из изолированных объемно-

пространственных структур, часто значительно удаленных друг от друга. При этом приборы, имеющие органы управления и индикации собирают в одну группу или общий пульт управления. Такое компоновочное решение позволяет индивидуализировать чисто рабочую зону оператора, выделив из нее вспомогательные блоки, сделав установку более технологичной в производстве и удобной в эксплуатации.

Факторы, влияющие на художественно-конструкторскую компоновку, можно разбить на три большие группы: технические, эстетические, эргономические.

Технические факторы включают в себя ряд специальных характеристик, которые отображают принципиально-функциональные связи комплектующих элементов и узлов оборудования и аппаратуры между собой и с внешней средой, которые так или иначе влияют на художественно-конструкторскую компоновку, а значит, и на формирование оборудования. К ним относятся паразитные связи между отдельными комплектующими узлами и блоками или между ними и средой; перегрев и температурный режим в объеме оборудования; динамические воздействия, особенности условий эксплуатации оборудования, особенности окружающей среды. Играет тут роль и технико-экономический аспект, так как с точки зрения удешевления точной механической обработки и упрощения процесса сборки, наилучшей компоновочной схемой может считаться та, при которой не требуется выдерживать точные допуски на обработку посадочных элементов узлов, а также точные допуски на сборку. Все перечисленные технические факторы можно разделить на внутренние и внешние, влияющие на компоновку тем больше, чем меньше явная связь между внутренней функцией изделия и его внешним видом. Часто рассматривая вопросы компоновки, разделяют ее на внутреннюю и внешнюю, понимая под внутренней компоновкой компоновку комплектующих изделий и узлов, входящих в монтажную часть оборудования, а под внешней — компоновку элементов, выходящих на поверхность корпуса оборудования (и даже упрощая это — элементов, выходящих на лицевую панель). Для технологического оборудования электронного машиностроения противопоставления внутренней и внешней компоновки не существует. Как инженерный, так и художественно-конструкторский аспекты компоновки охватывают и рассматривают как внутренние, так и внешние факторы, влияющие на компоновку. Таким образом, внутренними и внешними могут

быть лишь факторы, влияющие на компоновку, а не сама компоновка.

Эстетические факторы, влияющие на компоновку, не поддаются строгому учету, хотя объективно существуют и стихийно в той или иной мере учитываются художниками-конструкторами. Из практики видно, что можно выделить как главные три группы эстетических факторов, влияющих на художественно-конструкторскую компоновку: тенденции развития стиля оборудования данного вида; закономерности композиционного построения формы оборудования; особенности субъективного восприятия сущности эстетического данным художником-конструктором. Приступая к этапу художественно-конструкторской компоновки на стадии эскизного проектирования, художник-конструктор уже имеет определенный запас знаний об отечественных и зарубежных прототипах и аналогах, положенных в основу разработки данного оборудования. Эти знания он приобретает на стадии исследований и поисков. Начиная поиски компоновочных схем оборудования, он как бы имеет перед собой компоновочные схемы и внешние формы аналогов и прототипов, в которых выражены тенденции развития формы и стиля оборудования данного вида. Все эти данные определенным образом воздействуют на творческий процесс и поиск художника-конструктора и подсказывают ему выбор той или иной компоновочной схемы, а соответственно и определенное формообразование оборудования — в этом проявляется своеобразный консерватизм компоновочного решения данного оборудования. Новые компоновочные решения, а следовательно, и формы, возникают в электронном машиностроении достаточно часто. Это объясняется тем, что отрасль электронного машиностроения — новая отрасль, характеризующаяся освоением новых технологических процессов, новых физико-химических принципов в оборудовании. Для некоторых видов оборудования аналогов подчас не имеется вообще. Изучение и учет тенденций развития форм и стиля оборудования электронного машиностроения как новой области машиностроения имеет в этом смысле большое научное и практическое значение.

Второй группой эстетических факторов, влияющих на компоновку, являются закономерности композиционного построения формы. Речь идет о закономерностях, связанных с формированием объемно-пространственной структуры и тектоники, о пропорциональных, метроритмических, масштабных, контрастно-нюансных и

других закономерностях гармонизации формы. Как было отмечено выше, для художника-конструктора компоновочное решение логично переходит в композиционное. Работая над компоновкой, художник-конструктор не может не учитывать объективных законов композиции. Субъективное восприятие сущности эстетического данным художником-конструктором является едва ли не самой важной и сложной группой эстетических факторов, влияющих на компоновку.

Каждый художник-конструктор в зависимости от образовательного уровня, профессионального мастерства, опыта работы, общего эстетического развития и ряда других субъективных качеств имеет свое, сугубо индивидуальное восприятие сущности эстетических форм, а значит, компоновки, которая приводит к ним. Эти взгляды стихийно накладывают отпечаток на процесс художественно-конструкторской компоновки и часто выступают как довлеющие по отношению к первым двум группам эстетических факторов, рассмотренным выше.

Эргономические факторы, влияющие на компоновку, можно разделить на две группы: особенности антропометрических и биомеханических характеристик человека-оператора; психофизиологические возможности человека-оператора.

Особенности антропометрических и биомеханических характеристик оператора определяют при компоновке выбор основных и габаритных размеров, и размерные соотношения основных компоновочных объемов оборудования. К антропометрическим и биомеханическим характеристикам оператора, учитываемым при компоновке, можно отнести: общие размеры (пропорции) телосложения оператора, предельные размеры при различных положениях тела оператора, пределы перемещения рук, пределы перемещения ног и стопы, размеры кисти рук, углы поворота пальцев и кисти.

Психофизиологические возможности человека-оператора составляют другую группу эргономических факторов, влияющих на художественно-конструкторскую компоновку. Факторы этой группы определяют в основном компоновку лицевых панелей оборудования, пультов управления, а также частично и выбор общей компоновки формы оборудования. К этим факторам можно отнести так называемые рецепторные и эффективные функции человека. Учитывая все рассмотренные выше факторы, художник-конструктор в процессе компоновки удовлетворяет ряду компоновочных характеристик.

Компоновочными характеристиками называются критические условия, выполнение которых приводит к оптимальному компоновочному решению. Можно выделить следующие основные компоновочные характеристики: минимальные габариты оборудования, максимальный коэффициент использования объема, максимальные удобства доступа к элементам монтажа, максимальные удобства эксплуатации, пропорциональные соотношения основных размеров.

Перечисленные компоновочные характеристики являются по существу качественными и смешанными, т. е. включают в себя как инженерные, так и художественно-конструкторские показатели конструкции.

Для количественной оценки оптимальности компоновки вводят ряд компоновочных коэффициентов:  $K_v$  - коэффициент использования объема,  $K_{пл}$  - коэффициент использования площади лицевой панели,  $K_p$  - коэффициент габаритов (коэффициент использования производственной площади).

Коэффициент использования объема  $K_v$  равен:

$$K_v = \frac{V}{V_0},$$

где  $V_0$  - общий объем технологического оборудования;  $V$  - объем, занимаемый комплектуемыми элементами.

При оценке коэффициента использования объема радиоэлектронной аппаратуры  $V$ :

$$V = V_n = \Sigma (V_{св} + V_{эл}),$$

где  $V_n$  - полезный объем приборного корпуса;  $V_{эл}$  - объем, занимаемый комплектуемыми элементами;  $V_{св}$  - свободный объем у элементов, необходимый для их монтажа, оптимальной конвекции, электрической прочности монтажа, причем  $V_{эл}$  рассматривают как  $V_{эл} = V_a + V_n + V_k + V_g$ , где  $V_a$  - объем, занимаемый активными элементами,  $V_n$  - объем, занимаемый пассивными элементами,  $V_k$  - объем, занимаемый конструктивными элементами,  $V_g$  - объем, занимаемый вспомогательными элементами.

Для технологического оборудования нет смысла рассматривать отдельно  $V_a$ ;  $V_n$ ;  $V_k$  и т. п., так как объем, занимаемый законченными комплектуемыми узлами и блоками, несоизмеримо больше объема, занимаемого отдельными элементами этих узлов и блоков, а

также более правильно при компоновке оборудования оперировать конструктивно-технологическими законченными комплектующими узлами и блоками (уже имеющими свой собственный коэффициент использования объема), изменить которые конструктор и художник-конструктор уже не могут.

Коэффициент использования площади лицевой панели  $K_{сл}$  равен:

$$K_{сл} = \frac{S_{эл}}{S_{общ}}$$

где  $S_{эл}$  - площадь, занимаемая элементами лицевой панели;  $S_{общ}$  - общая площадь лицевой панели.

При рассмотрении стоек  $K_{сл}$  стойки подсчитывается для лицевых панелей всех комплектных и частичных вставных блоков, входящих в стойку,

$$K_{сл} = \Sigma S_{эл} / \Sigma S_{общ},$$

где  $\Sigma S_{эл}$  - сумма площадей, занимаемая элементами лицевых панелей блоков;  $\Sigma S_{общ}$  - сумма общих площадей лицевых панелей блоков (площадь лицевой поверхности стойки). Коэффициент габаритности  $K_p$  равен:

$$K_p = P \cdot V / S,$$

где  $V$  - общий объем оборудования;  $P$  - общая масса оборудования;  $S$  - площадь основания оборудования.

Удовлетворение заданных компоновочных характеристик оборудования и аппаратуры в значительной мере определяется габаритами и особенностями монтажа комплектующих узлов и блоков. Художественно-конструкторский анализ комплектующих узлов и блоков является особенно важной частью работы на этапе компоновки.

Не все комплектующие узлы и блоки в равной степени влияют на формирование оборудования и аппаратуры, поэтому художнику-конструктору необходимо совместно с инженером проводить на стадии поиска предварительный анализ комплектующих механизмов и узлов. Для этого комплектующие механизмы и узлы рассматриваются художником-конструктором с точки зрения габаритов и особенностей их компоновки и подразделяются на две большие группы: комплектующие механизмы, узлы и блоки, имеющие функ-

циональный выход на поверхности оборудования (в технологическом оборудовании электронного машиностроения это элементы лицевых панелей, предметные столы, оптические скамьи, манипуляторы, различные функциональные механизмы, лазерные головки, микроскопы и т. п.); комплектующие механизмы, узлы и блоки, входящие в монтажный объем оборудования (насосы, силовые блоки, двигатели, блоки автоматики, питания и т. п.). Затем из элементов первой группы выделяются элементы, эргономически необходимые на лицевых панелях оборудования (элементы управления и устройства отображения информации). Это помогает в дальнейшем избежать попадания на лицевые панели таких элементов, как элементы коммутации (гнезда, вилки, разъемы, клеммы и т. п.) и конструктивно-технологические элементы (приборные ручки, замки, вводы и т. п.), которые могут быть вынесены на боковые или задние поверхности оборудования.

Здесь же определяются функциональные механизмы оборудования, вынесение которых на поверхности оборудования диктуется особенностью технологических процессов на данном оборудовании; это, например, предметные координатные столики и устройства манипуляторов в монтажно-сборочном оборудовании, вакуумные камеры в вакуумном оборудовании, загрузочные устройства и т. п. Все элементы этой группы в дальнейшем тщательно прорабатываются с эргономической и художественно-конструкторской точек зрения все элементы этой группы. Среди элементов, входящих в монтажный объем оборудования, выделяются крупногабаритные комплектующие изделия. В результате очерчивается круг комплектующих механизмов, узлов и блоков, в компоновке которых художник-конструктор, безусловно, должен принять участие.

Процесс художественно-конструкторской компоновки оборудования и аппаратуры должен состоять из следующих этапов:

- 1) художественно-конструкторского анализа комплектующих механизмов, узлов и блоков;
- 2) выбора типа конструкции каркаса (или вообще несущей конструкции оборудования);
- 3) проведения собственно компоновки.

Эти этапы и содержание работы художника-конструктора на них требуют особого рассмотрения. Участие художника-конструктора в работе над несущей конструкцией (каркасом) оборудования создает предпосылки к созданию оборудования, обладающе-

го рациональной конструктивной формой. Удачное решение несущей конструкции (каркаса) оборудования и компоновки комплектующих узлов и блоков на ней является основой композиции формы любого оборудования в целом, ибо только таким образом художник-конструктор достигает рациональной, логичной структуры формы. Никакие другие средства композиции не помогут получить композиционно целостную, эстетически законченную форму оборудования, если не решен в главном скелет такой структуры — несущая конструкция оборудования.

Компоновка может проводиться следующими основными методами: методом последовательного наложения эскизов компоновочных вариантов; методом построения компоновочных вариантов оборудования на плазовых досках; макетно-модельным методом (путем построения «глухих» и «объемно-разрезных» макетов); методом плоскостного макетирования компоновочных решений (путем разработки компоновочных вариантов с применением темплетов). Темплет — плоскостное, масштабное, упрощенное изображение изделий (в плане или сбоку), может содержать необходимые условные обозначения и надписи. Масштаб темплетов обычно выбирается из следующего ряда: 1:1, 1:2, 1:5, 1 : 10, 1 :20, 1 :25, 1 :50, 1 : 100, 1 :200.

При применении метода последовательного наложения эскизов компоновочных вариантов, варианты компоновочных схем оборудования (в виде кинематических связей и условных масштабных чертежей расположения габаритных комплектующих элементов в ортогональных проекциях) выполняются графически на отдельных листах пергамин или кальки. Выполняется до 8—12 вариантов. Затем эти листы последовательно совмещаются (по 2, 3 листа) друг с другом и тем самым выбирается предпочтительный вариант. Выбранные таким образом предпочтительные варианты совмещаются еще раз один с другим и выбирается наиболее оптимальный вариант.

Применяя при компоновке метод построения компоновочных вариантов оборудования на плазовых досках, компоновочные варианты прорисовывают на плазовых досках цветным мелом в масштабе 1:1, а затем визуально оценивают оптимальность вариантов

Особенно эффективен и экономичен метод компоновки с применением темплетов. На темплете могут изображаться контурные очертания комплектующих узлов и блоков, а также необходимые детали и крайние положения подвижных частей. Контурное очертание комплектующих узлов и блоков выполняется упрощенно. Наиболее

широко этот метод компоновки применяется при разработке компоновочных решений комплектов, линий и производственных участков технологического оборудования. В этом случае темплатами обозначаются отдельные единицы оборудования в комплекте, линии и т. п. На темплатах, изображающих оборудование, указывают места обслуживания и подводки коммуникаций, которые обозначают равносторонними треугольниками, размер которых зависит от масштаба темплета, или окружностями. Широко применяются темплеты и для поисков компоновочных и композиционных решений лицевых панелей и панелей управления радиоэлектронной аппаратуры. В этом случае применяют магнитные темплеты — наборы условных {или выполненных с реальной конфигурацией} элементов, обозначающих различные устройства управления и устройства отображения информации. Они могут выполняться из пенопласта, дерева, пластмассы с последующим монтажом на ферромагнитные основания. В дальнейшем можно проводить поиски вариантов компоновки этих элементов на металлических листах с нанесенными на них координатными сетками, фиксируя оптимальные компоновочные варианты. Компоновка с помощью магнитных темплетов может проводиться в сочетании с объективными экспериментальными методами оценки психофизиологического состояния оператора, применяемыми в эргономике.

## **11. КОМПОЗИЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ**

Художник-конструктор имеет свои, непосредственные задачи в комплексном процессе проектирования — он стремится к целенаправленному и логичному созданию формы оборудования, отражающего функциональные, конструктивно-технологические, эстетические и эргономические признаки, заложенные в конструкции.

Форма изделия рассматривается в художественном конструировании как сложное комплексное явление. Форма — это система материальной организации предметности (объемно-пространственной, конструктивно-технологической, фактурно-цветовой и т. д.). Процесс возникновения и постепенного создания формы в процессе проектирования называется формообразованием изделия. Форма отражает в себе все качества конструкции: технологичность, рациональность компоновки, удобство эксплуатации и обслуживания, эстетическую выразительность и т. п. Художник-

конструктор должен стремиться чтобы функциональность оборудования, его технологичность, надежность, экономичность и другие показатели гармонично синтезировались в предметной форме таким образом, чтобы эта форма была не только утилитарно целесообразной в процессе эксплуатации, но и эстетически совершенной.

Изменение функции оборудования влечет за собой изменение его компоновочного решения, а значит, и формы, и наоборот. Это говорит о том, что, занимаясь созданием формы оборудования, художник-конструктор, как бы вскрывает диалектику его функционального развития, а это приводит его к наиболее глубокому осмыслению процесса формообразования и помогает наиболее полно выявлять через форму различные стороны качества оборудования. Художник-конструктор пытается наилучшим образом решить конструктивно-технологические стороны и форму будущего изделия, и стремится к ее наилучшему гармоничному построению, добиваясь при этом оптимального сочетания функционального и эстетического в конструкции.

Важнейшим звеном в процессе проектирования является разработка общих закономерностей гармоничного формообразования конструкций. Закономерности гармоничного строения формы и формирования структуры конструкции изучает теория композиции, главной задачей которой является разработка принципов и приемов целостного эстетического гармоничного синтеза промышленных изделий на основе многофакторного анализа технических и эстетических тенденций формообразования. Композиция — это общая система объективных закономерностей и субъективных особенностей восприятия, обуславливающих принципы построения эстетически гармоничных объемно-пространственных структур на основе многофакторного анализа. Исторический характер развития проектирования показывает, что средства композиции уточняются и корректируются в ходе промышленной и художественной практики. Особенности использования закономерностей композиции меняются вместе с развитием науки и техники, эстетических взглядов художников-конструкторов, общих теоретических направлений художественно-конструкторского творчества.

Профессиональный уровень художника-конструктора определяется тем, насколько он овладел средствами и принципами построения гармоничных объемно-пространственных структур. Недооценка функционального и конструктивно-технологического аспекта

при проектировании, недостаточный учет условий эксплуатации, технических условий, не приведут к созданию изделия, оптимального с точки зрения технической эстетики, ибо, как мы отмечали выше, подлинная красота промышленных изделий выступает в единстве формы с функционально-конструктивным содержанием изделия. Композиции можно классифицировать на три вида: плоские (фронтальные), объемные, глубинно-пространственные.

Плоской (фронтальной) композицией могут служить лицевые панели технологического оборудования и аппаратуры. Характерным признаком плоской композиции является взаимное построение элементов плоской и пространственной формы по двум фронтальным координатам, при этом построение по глубинной координате имеет подчиненное значение. Плоскими элементами в этом случае служат графические элементы лицевой панели (надписи, символы и т. п.), а пространственными — элементы индикаций, управления и конструктивные элементы панели.

Объемную композицию представляет собой форма оборудования в целом. Объемная композиция характеризуется распределением объемов и масс по трем координатам пространства, образующих трехмерную форму. Такая композиция воспринимается со всех сторон, причем все три измерения ее в композиционном отношении одинаково активны.

Глубинно-пространственной композицией может служить интерьер цеха, в котором будет работать проектируемое оборудование или сложный комплекс оборудования. Глубинно-пространственная композиция характеризуется не только взаимоотношением пространственных элементов поверхностей и объемов, но и пространств между ними. При этом доминирующим признаком этой композиции является не один объем или группа объемов, а пространство как композиционное целое. Современное оборудование представляет собой сложное гармоничное сочетание нескольких функциональных объемов, как правило, с крупным масштабным строем, исключая визуальную дробность формы и состоит из плоских (фронтальных), объемных и глубинно-пространственных композиций.

Машины часто имеют различные открытые динамические узлы, механизмы, устройства, участвующие в общем формообразовании. Это значительно усложняет композиционное решение и в значительной мере подчиняет его сложным требованиям рациональной

компоновки. Во многих видах оборудования композиция формы однозначно определяется функциональной сущностью компоновки. Кроме того, проектируя оборудование, создавая объемную композицию его формы, следует всякий раз думать о том, в каких условиях будет оно эксплуатироваться, каковы требования будущего промышленного интерьера к оборудованию, т. е. представлять и анализировать и глубинно-пространственную композицию системы «оборудование — промышленный интерьер». При проектировании комплексов оборудования, которое преобладает в настоящее время над индивидуальными моделями, все чаще приходится иметь дело со сложными композиционными ансамблями. Связывая задачу построения комплекса оборудования с производственным интерьером типового серийного завода, встает вопрос проектирования «систем ансамблей», т. е. серийного завода, оснащенного определенным основным технологическим и вспомогательным оборудованием. Задача художника-конструктора перерастает в задачу по созданию комплексной гармонизации производственной среды во всех ее аспектах. Выделяются две основные категории композиции: объемно-пространственная структура и тектоника.

Композиционное единство при формообразовании оборудования достигается путем применения всевозможных приемов и средств композиции — средств, позволяющих оптимально строить объемно-пространственные структуры, устанавливать взаимосвязь между элементами формы, окружающей средой и оператором. Основными средствами композиции являются пропорции, масштаб, ритм, контраст и нюанс и т. п. Особую группу средств композиции составляет совершенство закономерностей, направленных на выражение различных сторон эстетического качества изделия; к ним относятся: фактура, пластика, силуэт и т. п.

Пропорции устанавливают определенные размерные соотношения частей формы оборудования между собой и целым. Ритм — повторяемость, закономерное чередование элементов формы, выражающее функциональные и конструктивные особенности оборудования и сообщающее форме статическое или динамическое выражение. Контраст — резко выраженное противопоставление однородных элементов целого (по форме, объему, цвету, размерам, конфигурации и т. п.), которое подчеркивает гармоничность восприятия целого. Нюанс — характеризует незначительное различие между однородными противопоставляемыми элементами формы оборудования.

Масштаб — определяет соответствие величины оборудования его назначению, размерам тела оператора и окружающей среды.

Основой гармонии композиционного решения является правильное начальное определение типа объемно-пространственной структуры оборудования в зависимости от его функционального назначения и условий эксплуатации, которая в целом решается уже на этапе компоновки. Ошибки в выборе объемно-пространственной структуры делают бесполезной дальнейшую работу по композиционной отработке оборудования.

В основу построения объемно-пространственной структуры закладываются особенности взаимосвязи объекта и пространства. Характерным для электронного машиностроения является преобладание изделий с закрытой объемно-пространственной структурой и с функционирующим внутренним пространством и изделий с частично открытой объемно-пространственной структурой. В первом случае ведущим элементом в композиции является объем изделия, во втором — динамические узлы, механизмы и устройства.

В технологическом оборудовании, больше чем в других изделиях, объемно-пространственная структура формы определяется кинематической схемой и функциональными требованиями, а в некоторых видах оборудования эта связь проявляется однозначно. Важно при выборе компоновочных схем оборудования (даже чисто функциональных) пытаться установить для них те или иные рациональные структуры.

Особенностью объемно-пространственных структур, которая существенна для решения формы оборудования и устанавливается на начальных этапах стадии эскизного проектирования, является симметричность или асимметричность формы оборудования. Симметрия или асимметрия помогает добиться равновесия статичных и динамичных композиций, она же помогает установить последующий подход к компоновке комплектующих узлов и блоков, а значит, и к компоновке формы оборудования.

Симметричным называется предмет, состоящий из геометрически или физически равных частей, расположенных в определенном порядке. Различают два вида симметрии: зеркальную и конгруэнтную (осевую).

Зеркальная симметрия основана на равенстве двух частей формы, расположенных одна относительно другой как предмет и его отражение в зеркале. Воображаемая плоскость, которая делит такую

форму пополам, называется плоскостью симметрии. При конструировании оборудования и аппаратуры зеркальная симметрия находит широкое распространение. По ее законам строятся приборные стойки, кожухи, каркасы, пульта, а во фронтальных композициях - лицевые панели, пульта управления.

Конгруэнтная (или осевая) симметрия достигается путем вращения фигуры относительно оси симметрии, т. е. линии, при вращении вокруг которой фигура может неоднократно совмещаться сама с собой. Такой вид симметрии в проектировании оборудования не встречается.

При проектировании специального технологического оборудования и аппаратуры художник-конструктор чаще всего встречается с объемно-пространственными структурами, характеризующимися асимметричностью и зеркальной симметричностью одновременно. При этом чаще распространена асимметричность объемно-пространственных структур основного тела оборудования во фронтальных плоскостях и симметричность в профильных. И лишь при построении контрольно-измерительного оборудования можно иметь дело с чистой симметрией приборных шкафов, стоек, пультов и т. п.

Задачей построения асимметричного оборудования является прежде всего создание физического равновесия неравных компоновочных объемов, т. е. такого равновесия, которое обеспечивает этим неравным частям их правильное функционирование и композиционную цельность. Равновесие при проектировании асимметричных структур оборудования достигается различными способами в зависимости от совокупности требований, предъявляемых к этому оборудованию: смещением отдельных законченных блоков (чаще всего пультов, блоков индикации и управления и т. п.) относительно вертикальных осей оборудования, созданием направленных ритмов членений формообразующих поверхностей по вертикали и горизонтали, вынесением отдельных функциональных частей оборудования за основные габаритные размеры оборудования (бункеров, заградительных кожухов и т. п.).

В реальном оборудовании, которое представляет собой ансамбли объемно-пространственных структур, асимметрия и симметрия сложно сочетаются, что значительно усложняет задачу художника-конструктора.

Тектоника, вторая важнейшая категория композиции, выражает закономерности строения изделия, присущие его конструктив-

ной схеме, объективным физическим свойствам конструкционных материалов, соотношениям несущих и несомых частей и т. п.

Объемно-пространственное решение формы должно соответствовать физическим свойствам конструкционного материала, применяемого для построения формообразующих элементов, и технологии его обработки. Сама форма, являясь выражением конструктивно-технологического и функционального содержания, требует от конструктора знания механических свойств материала и т.п. Форма конструкции влияет (а иногда и предопределяет) выбор того или иного конструкционного материала и технологию изготовления формы. А способы технологии изготовления и конструкционный материал в свою очередь влияют на формообразование. В единстве формы с материалом, выбранным для ее построения, и с технологией изготовления и заключается тектоничность формы. Тектоничность формы выражается не только во взаимном единстве конструкционного материала, технологии его изготовления и построения данной формы, но и в том, что такие факторы, как свойства материала, технологичность и т. п., влияют на композиционное решение формы. Таким образом, форма оборудования тектонична тогда, когда она наиболее рационально выражает его функциональную сущность, является одновременно и наиболее оптимальной компоновочной структурой оборудования, и оптимальна с точки зрения технологии его изготовления.

Тектоника выступает как результат познания и пластически образного выражения в объемно-пространственной структуре физико-механических свойств материалов и конструкции: прочности, устойчивости, равновесия, распределения усилий и т. п. Тектоника проявляется прежде всего во взаимном расположении частей изделия, пропорциях, метроритмическом строе его формы и выражается прежде всего через соотношение несомого и несущего объемов, нагруженного и свободного от усилий объемов и т. п. Учитывая зависимость характера взаимосвязи элементов от тектоники формы при формообразовании оборудования, важно показать, что форма его развивается не случайно, а закономерно.

Основными закономерностями построения гармоничных композиционных решений, которые определяют и особенности применения средств композиции являются следующие.

1. Единство формы и функции (конструкции). Форма должна отражать компоновочную схему и основную композиционную идею,

выявляющую главные особенности конструкции, и быть тектонической.

При проектировании технологического оборудования функция - определяющий фактор формообразования. При этом ассоциативность и информативность формы (ввиду функциональной сложности оборудования) приобретают решающее значение и являются едва ли не основной закономерностью, которая может быть выявлена с помощью средств композиции в процессе формообразования. Тем более ассоциативными и информативными должны быть устройства отображения информации (особенно мнемосхемы). В зависимости от замысла и функционального назначения в конструкции компоновочные объемы формы или формообразующие элементы могут получить значения несущих или несомых (поддерживаемых), могут быть зрительно «тяжелыми» или «легкими», статичными или динамичными.

2. Единство эстетического и эргономического факторов. Современное автоматическое и полуавтоматическое оборудование, освобождая человека от мускульных усилий, увеличивает психофизиологическую нагрузку на него и требует большого внимания и правильных решений при быстрых реакциях. Это требует учета при проектировании таких характеристик, как освещенность, блеск, цветовая контрастность, антропометрические характеристики и т.п., и композиционных вопросов, которые выражают эстетическую сущность формы. Необходимо неразрывно учитывать весь комплекс эргономических и эстетических оптимальных условий для оператора, создавать психофизиологический и эстетический комфорт.

3. Единство композиции, которое можно считать важнейшим, суммирующим принципом композиции. Считая, что при композиционном решении оборудования достигнуто единство композиции, мы тем самым считаем, что гармония формы достигнута. Можно выделить следующие основные принципы гармонизации, обеспечивающие единство композиции: повторение целого в его частях (большого в малом); соподчиненность одних элементов другим; соразмерность; равновесие.

1) Повторение целого в его частях. Элементы, составляющие композицию (это формообразующие объемы и элементы конструкции оборудования), могут обладать различными признаками. Для гармонии композиции должен быть выбран главный признак, например конфигурация или геометрические размеры. Ведущий признак (признак целого) должен быть присущ в той или иной мере всем

элементам композиции, т. е. принцип «большое в малом» заключается в близости элементов композиции между собой по ведущему признаку целого. Например, если ведущим признаком является конфигурация (или размерное построение), то близость по этому признаку является подобием. Наличие ведущего признака в элементах композиции облегчает смену зон внимания при переходе от одних элементов к другим. Вместе с тем разнообразие элементов композиции делает ее информативно насыщенной, интересной, что сохраняет активность ее восприятия оператором. Это не всегда выгодно и может в определенных условиях стать отрицательным психологическим фактором.

2) Соподчиненность. Каждому элементу композиции соответствует определенная мера (по функциональной важности, величине, пространственному положению и т. п.). В зависимости от того, какая мера взята за наиболее важную, тот или иной элемент становится композиционным центром.

При этом все элементы композиции должны быть упорядочены относительно композиционного центра. Второстепенные элементы композиции подчинены центру композиции и располагаются по мере убывания их роли в обеспечении главной функции (главной для оператора). За композиционные центры в технологическом оборудовании принимаются, как правило, панели информации и управления и др. Но могут приниматься и наиболее важные функциональные элементы. На панелях также в свою очередь могут быть установлены свои композиционные центры, как во фронтальных композициях. Композиционным центром для глубоко-пространственных композиций может служить само оборудование. За главные отличительные признаки при установлении центров композиции могут быть приняты: геометрический вид элемента композиции, его форма, габариты и масса, положение в пространстве и т. п.

Основные средства композиции, применяемые для выделения композиционных центров: ритмический строй, пропорциональные отношения, нюансные и контрастные отношения формы и цвета, четкость и простота силуэта, направленность формы, светотень, фактура поверхности, геометрический вид формы.

3) Соразмерность. Каждому элементу композиции соответствует своя числовая мера. Соразмерность — единая мера соизмерения элементов композиции между собой, а также между ними и це-

лым. Например, при проектировании приборных корпусов аппаратуры это достигается выбором единого модуля несущих конструкций.

4) Равновесие композиции — это уравновешенность частей и целого относительно пространственных осей. Вертикальные и горизонтальные оси неравноценные. Главную роль играет вертикальная ось.

Среди классических средств композиции на первое место можно поставить пропорции как обладающие наиболее широкими возможностями гармонизации формы. Пропорции как средство композиции получают все более широкое применение, так как современные конструкции оборудования (в частности, их формообразующие элементы) представляют собой своеобразные системы многократно повторяющихся унифицированных элементов. С другой стороны, и сама унификация немислима без строгой размерной организации элементов конструкций. Основными видами пропорций в сфере проектирования оборудования являются геометрическая пропорция, пропорция «золотое сечение», пропорция на основе иррациональных чисел и модульная пропорция. Особенности пропорций безусловно зависят от средств, усиливающих воздействие пропорциональных закономерностей — контраста, нюанса, светотеневой структуры и т. п.

Другим основным средством создания гармоничной композиции формы оборудования, имеющим самостоятельное значение, является его цветовое решение. Выбор схемы цветового решения оборудования осуществляется с учетом условий труда и характера производственной среды (температуры, загрязненности воздуха, уровня освещенности и т. п.), конструктивных особенностей производственного помещения (его функций, габаритов и т.п.), вида и продолжительности работы, проводимой оператором. Разрабатывая схему цветового решения, следует учитывать, чтобы фактура и цвет формообразующих поверхностей исключали появление бликов и неоправданные контрасты формы. При цветовом решении оборудования выбор цветовой гаммы должен определяться в зависимости от его функционального назначения и, помимо всего прочего, ставить своей целью компенсацию неблагоприятных воздействий трудового процесса. Необходимо содействовать положительному эмоциональному настрою оператора в процессе труда и созданию микроклимата производственного помещения. Это особенно важно в гермозонах при проведении точных операций по монтажу и сборке, в поточных

линиях и конвейерах. Построение цветовой схемы, которая охватывала бы и удовлетворяла все вышеперечисленные условия, основано на психофизиологических и эстетических особенностях воздействия цвета.

Задача художника-конструктора при проектировании схемы цветового решения технологического оборудования может быть условно рассмотрена в трех основных аспектах:

- разработка цветовой схемы как важнейшего элемента композиционного решения формы;
- разработка цветовой схемы, обеспечивающей оптимальное психофизиологическое воздействие цвета на оператора;
- разработка цветовой схемы, обеспечивающей решение глубинно-пространственной композиции интерьера. Эти задачи логично вытекают из многообразия функциональных возможностей цвета как средства гармонизации предметного мира.

При проектировании линий и комплектов оборудования, цветовая схема, в аспекте композиционного решения формы, позволяет существенно влиять на пластику формы, ее тектонику, силуэт и позволяет достигать стилевого единства. Рассмотрение цветовой схемы в аспекте психофизиологического воздействия цвета на оператора позволяет использовать его как средство цветового кодирования и повышения безопасности и эксплуатационной надежности работы оборудования. Рассмотрение цветовой схемы, в аспекте представления общей глубинно-пространственной композиции интерьера, позволяет решить вопросы освещенности рабочего места, стимулировать гигиену рабочего места, учесть климатические и эксплуатационные особенности интерьера.

Можно рассмотреть два подхода к построению цветовых схем: применение монохромных и полихромных схем цветового решения.

При конструировании оборудования применение монохромных схем получает последнее время преимущественное развитие, так как современное оборудование имеет, как правило, простую архитектуру формы, характеризующуюся крупными функциональными объемами, крупномасштабным строем. Цветовая монохромная схема при этом подчеркивает единство формы, обеспечивает ее цельное восприятие. Исключение составляет цветовое решение лицевых панелей в технологическом оборудовании, где выделяют следующие

основные приемы цветовой композиции: лицевая панель нейтральна по отношению к корпусу оборудования; лицевая панель контрастна по отношению к корпусу. Как правило, лицевые панели решаются в нейтральных тонах. Яркие цвета применяются для нанесения символов, подписей и т. п. Имеют место и полихромные решения.

Нельзя допускать проектирование цветовой схемы для уже законченного оборудования. Это «одевание» формы в цветовую схему не позволяет использовать цвет как действенное средство композиции, активно влияющее на эстетическую гармонию формы. Такая цветовая схема разбивает цветовую целостность формы, создает ощущение пестроты, цветовой перенасыщенности и неорганизованности. При этом цветовое решение формы получает излишне декоративный, нехарактерный для технологического оборудования вид за счет цветных пятен, не несущих функциональной нагрузки. При цветовом решении оборудования одним из главных аспектов является учет психофизиологических особенностей воздействия цвета на оператора.

По особенностям психофизиологического воздействия, цвета видимой части спектра, могут быть условно разделены на теплые и холодные, легкие и тяжелые, выступающие и отступающие. Все эти понятия условно характеризуют особенности чисто психологического восприятия цвета.

Холодными цветами считают цвета части спектра от зеленого к синему. Холодные голубоватые, голубовато-зеленые тона всегда вызывают ощущение свежести и чистоты. Холодные цвета, кроме того, снижают напряжение зрения, успокаивают человека и помогают этим самым поддерживать необходимую производительность труда. Это является важным при проектировании монтажно-сборочного оборудования со сложной, с эргономической точки зрения, циклограммой работы оператора. Применение холодных и теплых цветов помогает психологически снизить неблагоприятный температурный режим в тех или иных помещениях. Если проектируется оборудование с каким-либо горячим технологическим процессом (например, электрические конвейерные печи, диффузионное оборудование и т. п.), то, окрашивая формообразующие элементы оборудования в холодные цвета, можно добиться психологического снижения температуры оборудования и тем самым создать для оператора психологически более благоприятные условия работы по обслуживанию данного оборудования. Это особенно существенно, так как

такое оборудование работает целыми участками, где важно добиться и оптимального микроклимата помещения в целом. Обратное психологическое действие производят на человека теплые цвета (цвета части спектра от желтого к красному), ассоциирующиеся с высокими температурами. Красный, оранжевый и желтый цвета оказывают на оператора возбуждающее действие.

Легкими условно называют цвета, обладающие высоким коэффициентом отражения и небольшой насыщенностью, а тяжелыми — темные насыщенные цвета, обладающие небольшим коэффициентом отражения. Легкие цвета благодаря высокому коэффициенту отражения вызывают ощущение легкости объемов оборудования и могут эффективно применяться для окраски несомых элементов, обладающих значительными габаритами. Это позволяет психологически добиться приемлемых решений при сложных компоновочных схемах оборудования.

Тяжелые цвета, наоборот, поглощают большое количество света, и поэтому их применение для окраски несущих элементов оборудования позволяет добиться логичной взаимосвязи цветового решения с конструктивным и компоновочным построением оборудования.

Характеристика цветов как выступающих и отступающих составляет интересное психологическое явление — иррадиацию. Явление иррадиации состоит в том, что контрастные сочетания какого-либо цветового пятна с фоном психологически меняют зрительное восприятие их размеров. Например, темный квадрат на светлом фоне будет всегда казаться меньше такого же на темном фоне. Темные цвета на светлом фоне всегда кажутся отступающими, а светлые на темном фоне — выступающими. Холодные цвета на теплом фоне удаляются (отступают), и наоборот, теплые цвета на холодном фоне как бы приближаются (выступают) к оператору. Хотя явление иррадиации не играет существенной роли при цветовом решении небольших законченных локальных объемных композиций, к каким относится технологическое оборудование, его приходится учитывать при проектировании вставных пультов, элементов лицевых панелей и т. п.

Используя явление отступления и выступления цветов, можно добиться и значительных успехов в эстетической проработке невыгодных с точки зрения архитектоники компоновочных решений оборудования.

Особое значение имеет применение цвета в качестве цветового кода для обозначения технологических трубопроводов в оборудовании, а также при проектировании устройств отображения информации. Применение цвета для обозначения технологических трубопроводов в оборудовании электронного машиностроения обусловлено отраслевым стандартом «Цветовое обозначение трубопроводов». В стандарте устанавливаются следующие виды обозначений трубопроводов:

- опознавательная окраска трубопроводов для обозначения укрупненных групп транспортируемых веществ;
- сигнальные кольца для обозначения особых свойств веществ или назначения трубопроводов;
- маркировочные планки и щитки для точного обозначения протекающих веществ, их параметров;
- предупреждающие знаки для обозначения основных видов опасности.

К цветовому решению относятся первые два вида обозначений.

Для удобства применения опознавательной окраски (ее запоминаемости, большей информативности) все вещества, транспортируемые по трубопроводам, объединены в укрупненные группы. Опознавательный цвет присваивается — укрупненным группам веществ. Опознавательная окраска призвана давать общие характеристики вещества, в самой общей форме информировать оператора о степени его опасности. Опознавательная окраска наносится по всей поверхности трубопровода, а также на запорно-регулирующую арматуру.

Для более точной характеристики (т. е. для информации оператора о характере опасности) применяют сигнальные кольца. Цвета сигнальных колец, установлены стандартом.

Сигнальные кольца наносятся на наиболее видимых участках трубопроводов, на входе и выходе из корпусов оборудования, а также по обе стороны запорно-регулирующей арматуры. Ширина сигнальных колец и расстояние между ними принимаются в зависимости от наружного диаметра трубопровода. При параллельном расположении трубопроводов сигнальные кольца наносятся одинаковой ширины с одинаковыми интервалами. При нанесении сигнальных колец на одноцветную с ними опознавательную окраску сигнальные

кольца желтого цвета должны иметь черные каемки, а кольца зеленого цвета — белые каемки шириной не менее 10 мм. Цветовые характеристики цветов опознавательной окраски и сигнальных колец устанавливаются в соответствии с ГОСТ. Цветовое кодирование трубопроводов, рассмотренное выше, нельзя отнести к области цветовой композиции — оно может рассматриваться в эргономическом аспекте (как элемент техники безопасности и эксплуатационной надежности), однако оно существенно влияет на общее цветовое решение оборудования.

Наметилась определенная тенденция к унификации цветового решения оборудования. Во-первых, унификация цветового решения позволяет выявить группы унифицированных функциональных цветов и применить их в виде кодов. Во-вторых, унификация цветового решения позволяет сформулировать требования к эстетическому и психофизиологическому воздействию личных компоновочных решений оборудования или единые правила выбора цветового решения, что значительно снижает трудоемкость проектирования. Унификация цветового решения позволит также ограничить номенклатуру применяемых лакокрасочных материалов на предприятиях и упростить технологический процесс, т. е. повысить экономическую эффективность проектирования и производства оборудования.

## **12. СПОСОБЫ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ФОРМЫ**

Самым важным аспектом процесса художественного конструирования, которым завершается компоновочное и композиционное решение оборудования, является выбор оптимального способа конструктивно-технологического решения формы. Оттого как воплощено композиционное и компоновочное решение в материале (в конструктивно-технологическом отношении) зависят художественно-конструкторские достоинства оборудования.

Оборудование, прекрасно решенное в композиционном отношении, неузнаваемо изменялось в производстве. Появлялись непредвиденные стыки, швы, зазоры, элементы крепления и т. п., «не запланированные» художником-конструктором. Возникают вопросы: правильно ли выбрано компоновочное и композиционное решение формы оборудования с точки зрения конструктивно-

технологической, осуществима ли форма рациональными технологическими способами, реальна ли она. Чаще всего именно это является причиной серьезного изменения художественно-конструкторского облика оборудования в производстве. Одним из главных необходимых условий художественного конструирования является знание художником-конструктором способов конструктивно-технологического решения формы оборудования и применение их на всех стадиях проектирования. Художник-конструктор лишь тогда может прийти к зрелому композиционному решению, когда он знаком с общими тенденциями развития конструкции данного вида, представляет себе возможные варианты конструктивного решения формы, знаком со свойствами конструкционных и отделочных материалов, представляет возможности современной технологии в условиях опытного, мелкосерийного и серийного производства.

Анализ оборудования электронного машиностроения позволяет выделить следующие группы элементов конструктивного решения формы: несущие элементы, компоновочные элементы, формообразующие элементы.

Группу несущих (силовых) элементов составляют элементы конструкции оборудования, которые обеспечивают размещение в них комплектующих узлов и блоков, их сохранность в условиях эксплуатации и посредством которых обеспечивается конструктивное сочленение формообразующих элементов. К несущим элементам можно отнести различные конструкции каркасов, несущих рам, станин, приборных корпусов и т. п. Группу компоновочных элементов можно выделить для удобства рассмотрения лишь условно, они чаще всего составляют с несущими элементами единое конструктивное целое. Компоновочные элементы предназначены для непосредственной установки на них комплектующих механизмов, узлов и блоков при компоновке – это всевозможные направляющие, рамы блочных каркасов, шасси, установочные конструкции и т. п.

Формообразующие элементы — элементы, непосредственно образующие (при креплении на несущих элементах) внешние границы объемно-пространственной структуры оборудования: всевозможные крышки, обшивки, кожухи, панели и т. п. В отдельных случаях формообразующие элементы могут одновременно исполнять и роль несущих при бескаркасном способе конструирования.

Компоновочные элементы несущественны для формообразования оборудования и не играют самостоятельной роли, они подчи-

няются в основном конструктивно-технологической, компоновочной и композиционной задаче. В то же время выбор типа и конкретное решение несущих и формообразующих элементов в основном определяют композиционное решение формы оборудования, ее технологичность и экономическую целесообразность. При выборе типа и конкретной конструкции этих элементов следует отметить, что он определяется тремя факторами: компоновочным решением оборудования; характером комплектующих изделий и узлов (по массе, габаритам, особенностям эксплуатации и т. п.); условиями эксплуатации (в том числе и особенностями технологического процесса на оборудовании); видом оборудования или аппаратуры.

Существенную роль тут играют и технико-экономические факторы - технологические возможности предприятий-изготовителей и масштаб выпуска оборудования. Масштаб выпуска изделий особо существенно влияет на выбор решения конструкции. Так, при единичном и мелкосерийном выпуске может быть экономически оправдано большое число подгоночных операций при сборке формообразующих и несущих конструкций оборудования. В то же время в крупносерийном и массовом производстве подгоночные операции должны быть исключены вообще. При единичном производстве широкое применение находят сварные конструкции каркасов из стандартного сортамента проката. При массовом производстве широко применяются различные виды литья, холодная штамповка, универсальная сборка конструкций из стандартных профилей и т. п. Таким образом, масштаб выпуска, технология и конструкция оборудования находятся в тесной взаимосвязи и должны учитываться художником-конструктором.

Способы построения несущих конструкций оборудования следующие: построение жестких каркасов из стандартного сортамента профильного проката; построение несущих конструкций из тонколистового проката; построение жестких каркасов из гнутого стального профиля; построение сборно-разборных (универсальных) каркасов из прессованных полых профилей из алюминиевых и магниевых сплавов; построение сборно-разборных (универсальных) каркасов из литых элементов; построение каркасов из штампованных и литых элементов.

В качестве формообразующих элементов при всех перечисленных способах построения несущих конструкций применяются штампованные и гнутые из листа крышки, обшивки всех видов. Ка-

ждый из перечисленных способов построения несущих конструкций открывает те или иные возможности для выражения художественно-конструкторского решения формы, для выявления того или иного композиционного замысла. Поэтому далеко не безразлично, какой из способов выбран художником-конструктором

Способ построения несущих конструкций из стандартного профильного проката путем его сварки не является перспективным для многих случаев проектирования, так как он обладает значительной трудоемкостью в производстве, металлоемкостью и не позволяет получать высокое композиционно-пластическое решение формы и качество ее внешних поверхностей. На образованных таким способом каркасах конструктивно затруднено устройство вкладных и накладных гнутых крышек и обшивок и поэтому их чаще обшивают плоскими листами внакладку, что приводит к образованию неровных швов, видимых мест сварки, что значительно снижает эстетический облик конструкции. Для отдельных видов крупногабаритного оборудования с традиционным компоновочным решением (электротермическое, эпитаксиальное) этот способ наиболее прост и широко применяется. Оправдан он и для других видов оборудования при единичном и мелкосерийном производстве, когда нет смысла проектировать и изготавливать специальную технологическую оснастку, когда могут быть оправданы значительные затраты ручного труда. Наиболее широкое распространение в электронном машиностроении получило построение несущих конструкций из тонколистового проката бескаркасным способом. Бескаркасным способом называют такой способ построения объемной конструкции, при котором формообразующие элементы из тонколистового проката непосредственно образуют жесткую несущую конструкцию. В этом случае каркас как таковой отсутствует — элементы из тонколистового проката играют роль и формообразующих и несущих. Жесткость объемной формы, оболочка которой изготовлена только из тонколистового материала, зависит от жесткости отдельных элементов конструкции и прочности мест их связей. В бескаркасных конструкциях стремятся по возможности ужесточить места их соединения. Бескаркасные конструкции, обеспечивая необходимую жесткость оборудования, позволяют художнику-конструктору найти композиционно-пластическое решение формы. Они широко применяются для построения вакуумных напылительных установок, диффузионного, лазерного и сварочного оборудования.

Способ построения каркасов из гнутого стального профиля является частным случаем построения бескаркасной конструкции, однако он может рассматриваться как самостоятельный. Применяемые для построения каркасов С-образные профили в сочетании с крытообразными равнополочными профилями и замкнутыми квадратными и прямоугольными профилями позволяют находить интересные композиционные решения, отличающиеся яркой тектоничностью формы. Технологичность и экономическая эффективность каркасов в производстве чрезвычайно высока. Конструктивная схема формы при этом и лаконична и проста, профиль, применяемый для построения каркасов, выполняет одновременно роль и несущего и формообразующего элемента. Это предпочтительнее бескаркасных конструкций при проектировании установок, требующих повышенной жесткости, когда обеспечение надлежащей жесткости из тонколистового профильного проката бескаркасным способом выливается в сложную конструктивно-технологическую задачу, вызывает повышение металлоемкости каркаса. К таким установкам можно отнести монтажно-сборочные столы, установки сварки, скафандры для теххимических процессов.

Однако указанные выше способы построения несущих конструкций имеют весьма существенный недостаток — невозможность гибкого развития компоновочных вариантов при развитии модификаций.

Построение сборно-разборных (универсальных) каркасов из прессованных профилей из алюминиевых и магниевых сплавов получило широкое применение как в нашей стране, так и за рубежом. Был создан ряд систем унифицированных элементов, позволяющих строить унифицированные несущие конструкции. Эти системы отличаются друг от друга разнообразным решением и количеством унифицированных элементов, способами их соединения.

Подобный принцип формообразования имеет существенные недостатки, главными из которых являются сложность изготовления технологической оснастки для получения унифицированных угловых элементов и профилей; ограниченность развития модификаций корпусов; невысокий коэффициент технологичности из-за наличия большого количества вспомогательных деталей, недостаточная жесткость конструкций. Кроме того, наличие большого количества соединений на внешней поверхности корпуса, переходные кромки и

уступы не позволяют достигать высоких эстетических качеств формы.

Построение сборно-разборных (универсальных) каркасов из литых элементов является в электронном машиностроении одним из перспективных направлений. Несущие конструкции собираются с помощью болтовых соединений из типовых основных и вспомогательных конструктивных модулей. В качестве основных модулей применяются несущие рамы различных конструкций, выполненные методом литья из легких сплавов, а в качестве вспомогательных — литые стяжки различных конструкций. При формообразовании оборудования с применением таких элементов появляются новые возможности композиционных решений — возможность четких ритмических членений объема, интересные графические и декоративные решения формы. Учитывая, что профиль рам может иметь различную форму и конструкцию, можно находить интересные стилевые решения оборудования. Этот способ формообразования, обладая всеми достоинствами сборно-разборных конструкций из профилей, позволяет обеспечивать достаточную жесткость несущих конструкций и дает более широкие возможности композиционного и декоративного решения.

Построение каркасов из литых и штампованных элементов — наиболее универсальный способ, когда наряду с литыми конструктивными модулями, применяются элементы из тонколистового проката и элементы из гнутого профиля. Этот способ построения позволяет получать разнообразные решения формы, но, применяя его, следует всегда рассматривать конструктивную простоту и технологичность формы, как главный критерий.

Технологичностью художественно - конструкторского решения является соответствие конструкции формы условиям технологии ее изготовления. Технологичность формы логично вытекает из рационально выбранного конструктивного решения. Вопрос о технологичности художественно-конструкторского решения ставится художником-конструктором уже на поисковом этапе стадии эскизного проектирования. Творчески подходя к вопросам технологичности формы, художник-конструктор может в своих поисках прийти к новым технологичным материалам или новым технологическим процессам изготовления оборудования, которые обеспечивают совершенно новое в эстетическом отношении, решение оборудования. Степень технологичности художественно-конструкторского решения

может характеризоваться тремя показателями: количеством несущих и формообразующих элементов формы; сложностью изготовления этих элементов; сложностью сборки формы.

Каждый лишний несущий и формообразующий элемент в конструкции, как известно, требует дополнительных затрат средств и трудоемкости в проектировании и производстве, к тому же это лишние металлоемкость и вес оборудования. Очень важно не только то, чтобы общее количество несущих и формообразующих элементов, входящих в конструкцию, было минимальным, но и то, чтобы они были одинаковы (повторялись) как внутри самой конструкции, так и относительно ранее освоенных производством моделей. Это сокращает номенклатуру несущих и формообразующих элементов. Но важны не только соображения экономичности оборудования. Сокращая количество несущих и формообразующих элементов, художник-конструктор добивается простой и целостной формы. Технологичность оборудования с художественно-конструкторской точки зрения ассоциируется у нас с простотой и лаконичностью конструктивного решения формы оборудования. Этой особенности технологичности отвечает и тенденция, в практике художественного конструирования, - укрупнить, объединить ранее разрозненные элементы формы, стремление построить форму крупными, простыми формообразующими элементами, достигнув тем самым лаконизма формы оборудования. То же самое можно сказать о влиянии на технологичность стандартизации и унификации формообразующих и несущих элементов формы. Форма, полученная из наименьшего числа составных и разнотипных элементов, всегда более лаконична и целостна. Отсюда становится ясным, как важно для художника-конструктора серьезно вникать в вопросы стандартизации и унификации решений.

При этом можно установить следующие критерии технологичности художественно-конструкторского решения.

Если принять за  $\Sigma N$  общее количество основных элементов конструкции и рассматривать ее как

$$\Sigma N = N_{осн} + N_{пан} + N_{форм} + N_{вст},$$

где  $N_{осн}$  - основные укрупненные комплекующие узлы и блоки, влияющие на форму и обеспечивающие функционирование оборудования (или аппаратуры);  $N_{пан}$  - комплекующие элементы лицевых панелей;  $N_{форм}$  - несущие и формообразующие элементы, оп-

ределяющие и составляющие форму (каркасы, кожухи, крышки и т. п.);  $N_{всп}$  - крепежные и другие вспомогательные элементы, предназначенные для соединения отдельных элементов формы. При распределении элементов проектируемого изделия по перечисленным группам можно получить наглядное представление об эффективности художественно-конструкторского решения с точки зрения технологии.

Коэффициентом эффективности может служить при этом выражение

$$K_{эфф} = (N_{пан} + N_{форм} + N_{всп}) : N_{осн}$$

Этот коэффициент определяет количество несущих и формообразующих элементов, приходящихся на один основной укрупненный функциональный узел оборудования (аппаратуры).

Таким образом, чем меньше коэффициент, тем выше эффективность художественно-конструкторского решения с точки зрения технологии.

Качественно это значит, что сложная функциональная компоновка получила выражение в форме, обладающей минимальным количеством формообразующих элементов.

Подобный анализ, проведенный художником-конструктором на стадии эскизного проектирования, помогает ему установить оптимальное количество конструктивных элементов, составляющих (образующих) форму как по числу, так и по наименованию. Этот коэффициент хорошо согласуется и с коэффициентами унификации. Это одна сторона технологичности.

Художественно-конструкторская разработка технологического оборудования и аппаратуры представляет в настоящее время, как правило, разработку не единичных моделей, а систем модификаций на основе базовой модели - типоразмерных рядов однородных конструкций. В этом смысле чрезвычайно важно выявить какие-то формообразующие и несущие элементы формы, которые могут быть заимствованы от модели к модели и, представлять собой типовые решения для данной системы конструкций, они же могут обеспечивать и стилевое единство всей системы модификации. Ввиду того что заимствованные элементы, как правило, уже освоены производством, отработаны с точки зрения технологии, обеспечены оснасткой и т. п., степень заимствования (преемственности)

художественно-конструкторского решения является одним из важных «показателей его технологичности. Показателем в этом случае может служить коэффициент заимствования

$$K_{\text{заим}} = N_{\text{заим}} : [\Sigma N - (N_{\text{всн}} + N_{\text{n.c}} + N_{\text{n.c}})],$$

где  $N_{\text{заим}}$  - число формообразующих или несущих элементов формы, заимствованных из других модификаций;  $N_{\text{n.c}}$  - число покупных стандартных элементов;  $N_{\text{n.c}}$  - число покупных нестандартных элементов.

Существенное значение имеет для характеристики технологичности и показатель повторяемости формообразующих элементов

$$K_{\text{повт}} = N : N_n,$$

где  $N$  - общее число формообразующих и несущих элементов;  $N_n$  - общее число наименований (типоразмеров) формообразующих и несущих элементов.

Объединяя разные по размерам и конфигурации элементы в единые типоразмеры, художник-конструктор улучшает технологичность конструкции.

Для полноты оценки технологичности художественно-конструкторского решения в случае создания унифицированных конструкций необходимо определить еще один важный показатель - коэффициент, характеризующий степень применяемости при формообразовании унифицированных элементов:

$$K_{\text{униф}} = N_{\text{униф}} : [\Sigma N - (N_{\text{всн}} + N_{\text{n.c}} + N_{\text{n.c}})],$$

где  $N_{\text{униф}}$  - общее число унифицированных формообразующих и конструктивных элементов в данной конструкции.

Изложенное выше позволяет наметить основные пути повышения технологичности художественно-конструкторских решений: изъятие из конструкции ненужных формообразующих и несущих элементов формы; уменьшение числа наименований (типоразмеров) элементов формы; использование при формообразовании элементов и материалов, уже освоенных в производстве; стандартизация и унификация формообразующих и несущих элементов формы.

Вторым основным показателем технологичности художественно-конструкторских решений является степень сложности изгото-

товления конструктивных и формообразующих элементов. Всякий элемент, образующий форму, может в этом смысле характеризоваться двумя критериями.

Первым критерием является особенность материала несущих формообразующих элементов. Материал должен хорошо обрабатываться принятыми технологическими способами и сохранять требуемые художественно-конструкторские и конструктивно-технологические качества в процессе эксплуатации. Изыскание новых, более совершенных материалов и является, таким образом, одним из путей повышения технологичности конструкций. При этом должны учитываться стоимость и дефицитность материала.

Вторым критерием являются размеры и конфигурация элементов. Сложность конфигурации поверхностей формы изделия является одним из важнейших показателей технологичности художественно-конструкторского решения. Наилучшими с точки зрения технологичности должны считаться формы, образованные простыми поверхностями (элементами с простой конфигурацией). Для простоты оценки этого показателя можно классифицировать все элементы следующим образом.

1) Простые элементы формы (изготавливаемые из заготовок методом холодной штамповки, плоские и гнутые формообразующие элементы). Элементы этой группы можно считать наиболее технологичными для построения формообразующих элементов.

2) Круглые элементы формы (изготавливаемые из заготовок холодной высадкой). Элементы этой группы считаются технологичными, процессы изготовления этих элементов легко поддаются автоматизации. Однако элементы этой группы практически не применяются при формообразовании оборудования.

3) Элементы формы сложной конфигурации (формообразующие элементы из профильного проката или изготовленные литьем). Полученные таким путем элементы обычно требуют дополнительной обработки или сложной оснастки при изготовлении, но размеры их достаточно точные, а конструктивная сложность формы высокая, что позволяет создавать интересные художественно-конструкторские решения. Таким образом, эти элементы можно считать технологичными. Значительные затраты на технологическую оснастку окупаются с увеличением серийности изготовления оборудования и аппаратуры.

4) Специальные поверхности (поверхности «космических» форм), характеризующиеся наименьшей технологичностью.

Но наличием тех или иных поверхностей (по указанным группам) и построением корпусов оборудования и аппаратуры из элементов поверхностей, обладающих наивысшей технологичностью (пп. 1, 2 и 3), еще не определяется технологичность художественно-конструкторской разработки. Могут иметь место и такие художественно-конструкторские решения формы, когда она, будучи в целом визуально проста, на самом деле по конструктивно-технологическому решению представляет собой достаточно сложное решение. Это случается тогда, когда в погоне за чисто внешней лаконичностью форм, ее пропорциональностью забывают о логичной связи эстетических и функциональных зависимостей в дизайне.

Таким образом, третьим критерием этого показателя технологичности конструкции является конструктивное оформление отдельных конструктивных и формообразующих элементов. Этот критерий технологичности необходимо особо учитывать потому, что в процессе конкретной обработки поверхности (пусть даже идеально технологичной с точки зрения рассмотренных выше критериев) возникает множество факторов, так или иначе влияющих на технологичность изделия. Этими факторами являются: степень свободы доступа инструмента к обрабатываемой поверхности (степень удобства обработки); размеры обрабатываемой поверхности; степень требуемой шероховатости обработанной поверхности; количество формообразующих поверхностей, подвергаемых одинаковой обработке; нанесение на поверхности рельефа, рисунков, надписей, декоративное решение поверхностей.

Можно сказать, что каждый из этих факторов выражает технологические достоинства художественно-конструкторского решения. Таким образом, для достижения технологичности художественно-конструкторского решения художник-конструктор должен решать следующие задачи оптимизации второго показателя: выбрать технологичные конструкционные и отделочные материалы; решать форму изделий простыми (в смысле технологического и конструктивного оформления) поверхностями; выбрать наиболее рациональные технологические способы изготовления конструктивных и формообразующих элементов; оптимальные способы декоративной отделки элементов формы.

Третьим основным показателем степени технологичности художественно-конструкторского решения является сложность сборки формы.

При оценке этого показателя весьма существенной является степень расчлененности формы на сборочные единицы:

$$K_{сб} = N_y : N,$$

где  $N$  - общее число формообразующих и конструктивных элементов формы;  $N_y$  - общее число законченных сборочных узлов (единиц) конструкции.

Чем больше законченных сборочных узлов (единиц) в конструкции, тем меньшая доля сборочных работ будет выполняться квалифицированными сборщиками. Это же является одновременно и предпосылкой к агрегатированию конструкции.

Другим критерием сложности сборки может служить коэффициент трудоемкости сборки формы:

$$K_{m.сб} = (\sum N_c t_c + \sum N_\phi t_\phi) : T_i,$$

где  $N_c$  - количество комплектующих узлов, подлежащих сборке;  $N_\phi$  - количество конструктивных и формообразующих элементов, подлежащих сборке;  $t_c$  - норма времени на сборку одного узла;  $t_\phi$  - норма времени на сборку конструктивных и формообразующих элементов;  $T_i$  - общая трудоемкость изготовления художественно-конструкторского аналога или прототипа.

Рассматривая вопрос сложности сборки формы, художник-конструктор в первую очередь должен обратить внимание на способ соединения конструктивных и формообразующих элементов. Он может выбрать разъемные или неразъемные соединения в зависимости от принятого способа конструктивного решения каркаса оборудования.

Из множества существующих способов соединения элементов формы, можно выделить следующие прогрессивные способы: контактная точечная сварка; склеивание; контактная точечная сварка по клею (клеесварные соединения).

Точечная сварка при всех положительных качествах имеет существенный недостаток — исключается возможность электрохимической обработки сварных элементов из-за трудоемкости удале-

ния электролита из-под нахлеста соединения. Оставшийся электролит способствует появлению очагов коррозии в месте соединения.

Выполненные способом склеивания соединения, обладая высокой герметичностью и чистотой, имеют существенный недостаток — хрупкость клеевого шва.

Объединение двух процессов — контактной точечной сварки и склеивания дает возможность получать клеесварные соединения, сочетающие в себе положительные свойства указанных выше способов. Прочность соединения при этом значительно возрастает.

Все шире развиваются следующие пути повышения технологичности при формообразовании: изготовление кожухов, крышек и других формообразующих элементов оборудования и аппаратуры из пластмасс, применение клеевых и клеесварных неразъемных соединений при построении элементов формы, применение сложного профильного проката как конструктивного материала, выполняющего одновременно и декоративную функцию. Широкое использование электрохимических способов декоративной обработки металлов, применяемых для формообразующих элементов, дальнейшее развитие фотохимических методов изготовления панелей и других элементов оборудования.

Качество художественно-конструкторского решения зависит от многих факторов современной технологии, знание и учет которых приближают художественно-конструкторское решение к требованиям современного производства, делают его реальным и обоснованным.

### **13. ОБРАБОТКА И ОТДЕЛКА ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ**

Для создания высококачественного оборудования необходимо учитывать требования к обработке и отделке формообразующих поверхностей, цветового решения, принципов выбора рациональных декоративных и отделочных материалов.

Цветовое решение является одним из основных средств композиции формы оборудования. После выбора цветовых схем, исходя из закономерностей композиционного решения на проектных стадиях, главное значение приобретает определение декоративных и отделочных материалов, способов их нанесения и требований к ним. Вы-

бор и применение отделочных материалов при художественном конструировании определяется их ролью в композиционном решении формы оборудования и требованиями эксплуатации, предъявляемыми к ним. Пластмассы, лакокрасочные и металлические покрытия, обивочные и облицовочные материалы должны при этом не только отвечать комплексу требований, определяющих их эстетические, технологические и эксплуатационные свойства, но и быть экономически целесообразными (по дефицитности и стоимости). Выбор тех или иных отделочных материалов и способов их применения необходимо начинать со стадии эскизного проектирования и отмечать уже в эскизном художественно-конструкторском проекте.

В художественном конструировании оборудования электронного машиностроения находят применение три основных способа декоративной отделки: отделка металлическими покрытиями, отделка лакокрасочными покрытиями, отделка облицовочными и обивочными материалами.

Из большого разнообразия методов металлических покрытий для декоративной отделки наиболее широко применяются гальванический и химический методы. Металлические покрытия получили распространение при отделке наружных элементов оборудования и аппаратуры, таких как ручки, обрамления, кнопки и т. п. Наиболее распространенными видами гальванических покрытий для декоративной отделки являются покрытия никелем, хромом, оксидными пленками. Для декоративной отделки алюминиевых лицевых панелей оборудования используют эмаль-пленки (отделка прозрачным оксидным покрытием). Эмаль-покрытия хорошо противостоят истиранию и сообщают алюминию высокую коррозионную и химическую стойкость. Эмаль-пленка выдерживает резкие изменения температуры и не повреждается при нагревании. Толщина пленки 6—8 мкм. Для получения эмаль-пленки применяется обычное оборудование для гальванических процессов - ванны, сушильные шкафы и т. п. В зависимости от применяемых составов сплавов и условий эматалирования эмаль-пленки могут быть белыми или различных оттенков белого цвета. Эматалированные алюминиевые панели хорошо сочетаются с лакокрасочными покрытиями и деревом. Для отделки формообразующих конструкций оборудования применяются в основном лакокрасочные покрытия.

Лакокрасочные покрытия классифицируются по материалам покрытия, внешнему виду поверхности (классу покрытия), условиям

эксплуатации (группе покрытия). В электронном машиностроении используется большое разнообразие эмалей, лаков и красок для лакокрасочных покрытий.

Решающее значение в обеспечении качества отделки технологического оборудования или аппаратуры имеет рациональный выбор и правильность соблюдения технологических процессов при обработке лакокрасочными покрытиями по тому или иному классу, а в самом технологическом процессе — качество подготовки поверхностей под отделку. Типовой технологический процесс нанесения лакокрасочных покрытий состоит из четырех основных стадий: подготовка поверхности под отделку, грунтование и шпатлевание, нанесение лакокрасочного покрытия, сушка покрытия. Формообразующие поверхности оборудования перед покраской подвергаются грунтованию и шпатлеванию. Вообще необходимость грунтования и шпатлевания определяется требованием к качеству покрытия, материалом конструкции и т. п. Так, например, обязательному грунтованию и шпатлеванию подвергаются каркасы оборудования, изготовленные из тонколистового профильного проката или штампованных элементов, а также каркасы, изготовленные методом литья.

Формообразующие элементы (панели, крышки, обшивки, кожухи) можно покрывать и без грунта, непосредственно по металлу, после подготовки поверхности, но, как правило, их также грунтуют для улучшения адгезии лакокрасочного покрытия. Слой грунта под покрытие должен быть равномерным, сплошным, должны отсутствовать неприкрашенные места, подтеки и пузыри.

Операция шпатлевания применяется для выравнивания загрунтованной поверхности перед покрытием при отделке. Количество слоев шпатлевки определяется классом покрытия. Шпатлевание производится по мере надобности в зависимости от состояния поверхности, с увеличением слоя шпатлевки ухудшается качество отделки поверхностей.

В зависимости от конфигурации поверхностей, размеров, рода материала, степени загрязнения и других факторов может быть применен механический или химический способ очистки поверхности.

Для штампованных формообразующих поверхностей оборудования, различных размеров и конфигураций (крышек, обшивок, кожухов), применяют обычно химический способ очистки — травле-

ние в растворе фосфорной кислоты и обезжиривание (горячими щелочными растворами или органическими растворителями).

Для литых формообразующих конструкций — опор, станин и т. п. применяют механический способ очистки – дробеструйную обработку, очистку стальными щетками и т. п.

Поверхность литых элементов, поступающих в цех лакокрасочных покрытий, должна быть полностью очищена от остатков формовочной и стержневой смеси, пригара, заливов, литников и т. п.

Местные дефекты на отлитых поверхностях в виде раковин, вмятин, забоин и т. п. заваривают, заливают эпоксидным компаундом или зачищают заподлицо с основной поверхностью. Как видно, техпроцесс отделки литых деталей достаточно сложен и обладает большой трудоемкостью в основном из-за сложности предварительной подготовки поверхностей, поэтому необходимо стремиться к максимальному использованию, в качестве формообразующих элементов оборудования, точного литья (например, в кокиль) без дополнительной механической обработки. Применение литья с большими объемами механической обработки приводит к значительному увеличению трудоемкости изготовления оборудования.

Применяя литые формообразующие элементы оборудования, следует помнить, что даже при высоком качестве подготовки поверхности не удастся достигнуть высокого качества отделки. При покрытии литых формообразующих элементов допускаются значительные дефекты поверхности, на которых могут быть видны следы заварки, риски, следы зачистки. Большие тяжеловесные опоры пультов имеют значительные литые поверхности, отличающиеся низким качеством. Необходимо в каждом конкретном случае проектирования тщательно изучать особенности применения литых формообразующих конструкций.

Непосредственный процесс нанесения лакокрасочных материалов на загрунтованную и зашпатлеванную поверхность завершает отделку. Количество слоев нанесения лакокрасочного покрытия определяется условиями эксплуатации и классом отделки. Методы нанесения лакокрасочных покрытий выбираются в зависимости от серийности производства, размеров и конфигураций элементов и применяемых лакокрасочных материалов. Могут применяться следующие методы нанесения лакокрасочных покрытий: окраска пневматическим распылением (пульверизацией), окраска распылением в электрическом поле, окраска окунанием и поливом, окраска струйным

поливом, окраска безвоздушным распылением под большим давлением с подогревом.

Каждым из этих методов имеет свои достоинства и недостатки при отделке различных изделий, каждый из них может быть механизирован или автоматизирован в зависимости от серийности производства. Наиболее широкое распространение при отделке технологического оборудования и аппаратуры получили первые два метода.

При применении метода окраски пневматическим распылением используют пульверизационные установки, распылительные камеры, моющие камеры, сушильные шкафы с автоматической регулировкой температуры и всевозможную оргтехоснастку.

При применении метода окраски распылением в электрическом поле камеры окраски и вспомогательное оборудование аналогичны применяемому в первом случае.

Очень важным вопросом при мелкосерийном и серийном производстве технологического оборудования является обеспечение высокой однотонности окраски разъемных формообразующих элементов и сборочных единиц, имеющих одинаковое цветовое решение. Для устранения разнотонности формообразующих элементов и сборочных единиц, при их различном (во времени) поступлении в производство, в комплект конструкторской документации вводится специальный документ «карта комплектной окраски». В карте группируются формообразующие элементы с одинаковым видом покрытия. Карту комплектной окраски разрабатывает конструкторское подразделение, ведущее выпуск рабочей документации, и утверждает подразделение технической эстетики. Карта комплектной окраски вводится в документацию после изготовления опытного образца (при корректировке конструкторской документации перед предъявлением документации государственной комиссии). Для комплектов оборудования, карта комплектной окраски выпускается на каждое изделие комплекта.

Отделка декоративными облицовочными материалами также широко используется в художественном конструировании технологического оборудования и для создания определенных цветовых решений и, что особенно важно, как средство конструктивно-технологической и эргономической оптимизации рабочих мест.

Облицовочные материалы применяются для облицовки столешниц монтажно-сборочного, эпитаксиального, контрольно-

измерительного и испытательного оборудования, причем применение того или иного облицовочного материала определяется не только композиционными особенностями, но и требованиями технологической гигиены для данных условий эксплуатации и требованиями эргономики для тех или иных видов операций. Декоративный бумажно-слоистый пластик наиболее распространенный облицовочный материал. Он характеризуется высокой прочностью к истиранию, к загрязнениям, незначительным водопоглощением. Свои декоративные качества сохраняет в течение 3—3,5 лет. Разнообразие расцветок и рисунков и высокое качество поверхности позволяют широко использовать его для различных композиционных решений.

Наиболее широко он применяется для отделки рабочих столешниц технологического оборудования и поверхностей пультов и стендов контрольно-измерительного оборудования. Имеют случаи отделки слоистым пластиком и общих формообразующих элементов оборудования. Декоративным бумажно-слоистым пластиком облицовываются как деревянные, так и металлические поверхности. Крепление листов возможно выполнять двумя способами: механическим (шурупами, гвоздями или при помощи различных раскладок) и клеевым (каучуковые контактные клеи, мочевино-формальдегидные и поливинилацетатные).

Для обработки торцовых кромок рекомендуется применять специальные профили из пластмассы, алюминия, нержавеющей стали и твердых пород дерева. Для изготовления декоративных элементов оборудования (обрамлений, декоративных элементов лицевых панелей) широко используется блочный полистирол. Можно широко использовать возможности литья из полистирола и для получения целых панелей с мелким рельефом.

Панели могут изготавливаться не только из ударопрочного полистирола различных цветов, но и из других пластмасс. Наружная поверхность панели имеет при этом мелкий рельеф в виде рифлений в горизонтальном или вертикальном направлении, которые зрительно могут увеличивать размеры панели по ширине или высоте.

Эффективным приемом декоративного решения пластмассовых панелей является сочетание различных видов отделки поверхности панели: сочетание плоскостей, имеющих гладкую или матовую поверхность, с плоскостями (или отдельными их элементами), имеющими фактурную или глянцевую поверхность.

Полистирол широко применяется также для изготовления декоративных вентиляционных или формообразующих решеток. Применение таких элементов позволяет найти новые композиционные решения формы.

Для рабочих столешниц различных видов технологического оборудования могут применяться поливинилхлорид (облицовочные плиты и листы) и облицовочный листовой стеклопластик.

В будущем найдут применение обивочные искусственные пленки и кожи с высокими декоративными и защитными свойствами для покрытия целых формообразующих конструкций оборудования и аппаратуры. В условиях повышающихся требований электровакуумной гигиены это, безусловно, можно считать перспективным направлением в декоративной отделке оборудования электронного машиностроения. Можно считать перспективным и изготовление некоторых формообразующих конструкций (крышек, кожухов и т. п.) целиком из ударопрочных пластмасс. Это потребует серьезных технологических разработок и поисков экономически целесообразных решений.

#### **14. ОСОБЕННОСТИ ХУДОЖЕСТВЕННОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ КОМПЛЕКТОВ И ЛИНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ**

Электронное машиностроение переходит в настоящее время от индивидуальных решений к созданию автоматизированных линий и комплектов оборудования. Сам характер технологических процессов в электронной промышленности, представляющих собой систему последовательных операций по сварке, сборке, химической обработке и т. п., обуславливает разработку линий оборудования, обладающего типовыми эргономическими и художественно-конструкторскими характеристиками, типовыми компоновочными и конструктивно-технологическими решениями.

Художественно-конструкторское решение линий и комплектов оборудования логично вытекает из существа содержания технологического процесса как функционального целого.

Проектирование линий и комплектов оборудования базируется прежде всего на типовых функциональных решениях и типовых размерных построениях конструкции оборудования, как внутри себя,

так и внутри всего многообразия конструкций данного вида - внутри типажа данных конструкций.

Таким образом, в основе комплексного проектирования линий и комплектов оборудования лежит разработка рационального размерно-параметрического ряда.

Размерно-параметрический ряд является теоретически обоснованной совокупностью внутренних и внешних параметров оборудования, взаимно и согласованно расположенных в порядке количественного возрастания (или качественного преобладания). Под внутренними параметрами здесь понимаются основные технические характеристики конструкций: точность, производительность и т. п., а под внешними — габаритные и присоединительные размеры, художественно-конструкторские особенности решения и т. п.

Процесс построения оптимального размерно-параметрического ряда можно разделить на этапы: выбор номенклатуры основных параметров изделий для построения размерно-параметрического ряда; выбор диапазона параметрического ряда; выбор характера градации размерно-параметрического ряда; выбор оптимальной густоты градаций ряда. Все эти этапы имеют решающее значение для создания типажей конструкций. При художественно-конструкторской разработке линий и комплектов оборудования основное значение имеет создание размерных рядов внешних параметров оборудования, которые должны быть взаимосвязаны в линии или комплекте.

Первое место занимает установление размерной градации внешних параметров и установление оптимальной густоты ряда, что особенно важно и для художественно-конструкторского решения формы.

При размерном решении формы в художественном конструировании могут применяться в принципе две системы размерных построений: система предпочтительных чисел и модульная система, основанная на принципах арифметической прогрессии. Согласно рекомендациям Международной организации по стандартизации ISO P3 и P17 при выборе характера градаций параметрического ряда следует отдавать предпочтение градации по системе предпочтительных чисел. В настоящее время большинство параметрических рядов изделий машиностроения строится на основе предпочтительных чисел.

Ряды, построенные на основе предпочтительных чисел, должны отвечать следующим требованиям:

1) представлять собой рациональную -систему градации чисел, отвечающих потребностям производства и эксплуатации;

2) быть бесконечными как в сторону больших, так и в сторону малых величин, т. е. допускать неограниченное увеличение или уменьшение параметров;

3) включать все последовательные десятичные увеличения и уменьшения каждого числа ряда;

4) быть простыми и легко запоминающимися.

Системы предпочтительных чисел, применяемые в проектировании, представляют собой геометрические ряды, сохраняющие одинаковую разность между любыми смежными членами ряда. Это важное в проектировании свойство объясняется тем, что в геометрической прогрессии отношение двух смежных членов ряда всегда равно постоянной для данного ряда величине — знаменателю прогрессии.

Ряды предпочтительных чисел представляют собой десятичные ряды геометрической прогрессии со знаменателями. При проектировании допускается применять производные ряды, получаемые из основного, или дополнительного путем отбора каждого 2, 3, 4, или  $n$ -го числа основного или дополнительного ряда. В машиностроении между величинами, составляющими геометрические ряды, часто встречается зависимость вида

$$A_n = K \cdot C_n^m,$$

где  $A_n$  и  $C_n$  – соответствующие значения  $n$ -членов ряда;  $K$  – постоянный коэффициент;  $m$  – показатель степени.

Такой зависимостью связываются линейные (габаритные и присоединительные) размеры машин с их объемами, площадями, весами, мощностью и т.д. Последующие члены того и другого ряда связаны между собой равенством

$$A_n \varphi_A = K \cdot (C_n \varphi_C)^m,$$

где  $\varphi_A$  и  $\varphi_C^m$  – соответственно знаменатели прогрессии обоих рядов.

Если разделить второе выражение на первое, то получим:

$$\varphi_A = \varphi_C^m.$$

Величины, составляющие геометрические ряды, связаны степенной зависимостью, и знаменатели прогрессии этих рядов связаны той же зависимостью. Это положение позволяет строить ряды взаимосогласованных параметров. Применение предпочтительных чисел при назначении линейных размеров оборудования имеет ряд особенностей.

При выборе размеров предпочтение должно отдаваться числам из рядов с более крупной градацией, т. е. ряд R5 следует предпочесть ряду R10, ряд R10 — ряду R20, ряд R20 — ряду R40. Наилучших результатов при конструировании можно достигнуть, устанавливая размеры только по определенному ряду, так как в этом случае наиболее эффективно используются свойства предпочтительных чисел.

Следует учитывать, однако, что выбор одних размеров может исключить возможность применения других, которые от них зависят. Это вытекает из того, что сумма предпочтительных чисел или их разность, как правило, не является предпочтительным числом. Это отрицательное свойство может быть преодолено при совместном применении системы предпочтительных чисел и модульных систем, основанных на принципах арифметических прогрессий. В архитектуре и технике существует целый ряд модульных систем. Нельзя идеализировать ни один из способов гармонизации размерных рядов. Модульные системы хотя и применяются довольно широко, но не позволяют строить гармоничные ряды размеров оборудования по H, L и B (особенно при разработке линий, комплектов оборудования и систем с децентрализованной компоновкой, со сложными условиями сочетания габаритных и присоединительных размеров), так как такие системы имеют относительную неравномерность ряда значений. При постоянной абсолютной разности, относительная разность (в процентах) между членами ряда уменьшается с возрастанием ряда. Ни одна модульная система, система гармонизации, не может применяться без учета функции, конструкции, технологии, назначения изделия, композиционного замысла и т. д. Только после изучения этих факторов можно рассчитывать на создание действительно качественной конструкции, гармонизированной объемно-пространственной структуры. Оптимальное построение размерного ряда и гармонизация его значений являются главной и основной задачей художника-конструктора в процессе разработки линий и комплектов оборудования и последующей разработки типажа конструкций. Решение этой

задачи приведет к гармонизации художественно-конструкторских параметров технологического оборудования. В машиностроении применяется несколько видов рядов. Размерно-параметрический ряд конструкций должен соответствовать следующим основным требованиям: дискретные значения ряда должны соответствовать системе предпочтительных чисел (для обозначения внутренних параметров) и нормальным линейным размерам (для обозначения внешних параметров); дискретные значения ряда должны быть кратными модулю 20 мм; дискретные значения ряда должны обеспечивать построение рациональных художественно-конструкторских объемов при компоновке; значения ряда должны образовывать при своих сочетаниях пропорциональные соотношения; дискретные значения ряда должны обеспечивать построение нормальных рабочих зон в соответствии с требованиями эргономики; количественные характеристики ряда должны позволять составлять оптимальные художественно-конструкторские решения оборудования данного вида и т. п. Применение рядов предпочтительных чисел особенно эффективно для гармонизации комплекса изделий, составляющих комплект, линию или систему различных устройств. Разрабатывая размерно-параметрический ряд, чрезвычайно важно установить как размерный модуль (основание) ряда — элементарный размер, принятый за исходный при размерном построении конструкций, так и конструктивный модуль ряда (элементарный конструктивный элемент), характерный для всех конструкций данной системы. Система конструкций может считаться оптимальной в том случае, если размерный и конструктивный модули совпадают в одной элементарной конструкции системы, образуя размерно-конструктивный модуль. Но выбор размерного и конструктивного модуля может и не совпадать. Если система конструкций должна обладать только одним размерным модулем, что будет обеспечивать различные сочетания, сочленения и взаимозаменяемость конструкций в типаже, то конструктивных модулей (своеобразных элементарных конструкций в системе) может быть несколько. Размерно-конструктивный модуль всей системы может быть формально установлен по наибольшему количеству связей с другими элементами системы.

При проектировании комплектов и линий оборудования возникают и своеобразные композиционные проблемы, отличные от композиционных вопросов, возникающих при проектировании отдельных моделей оборудования.

Разрабатывая комплекты и линии художник-конструктор сталкивается со сложной задачей проектирования композиционных ансамблей, при построении которых необходимо одновременно решать задачи глубинно-пространственной композиции (композиционное решение всего комплекта или линии и увязкой их с производственным интерьером), объемной композицией (композиционное решение отдельных единиц оборудования, входящих в комплект или линию) и плоской композицией (композиционное решение информационных панелей и панелей управления).

Решение вопросов глубинно-пространственной композиции представляет при этом наибольшую сложность, так как наряду с решением чисто эстетических задач необходимо обеспечивать оптимальные технологические маршруты обрабатываемого изделия, кратчайшие линии коммутации оборудования между собой и т. п. Необходимо решать и эргономические проблемы — удобство групповой эксплуатации оборудования, удобство профилактического обслуживания оборудования и т. п. Наилучшее решение получится, если непосредственной композиционной проработке предшествует планировочное решение комплекта. Разработка планировочного решения сложного комплекта невозможна без глубокого эргономического анализа связей в комплекте. Проводя такой анализ, стремятся, предварительно распределяя функции между оператором и оборудованием на всех основных технологических операциях, пространственно разнести виды оборудования, которые выполняют функции без участия оператора, от тех видов оборудования, с которым оператор непосредственно контактирует. Такое пространственное разнесение резко упрощает планировочное решение, делает более логичными эргономические и композиционные связи в комплекте. Определяется ряд зон: оперативного обслуживания; профилактического обслуживания; движения полуфабрикатов и т. п. Эти зоны, намеченные с учетом предполагаемых связей и последовательности действий оператора, и определяют общую структуру планировки комплекта или линии. Дальнейшая разработка планировочного решения проводится внутри обозначенных функциональных зон. Границы зон и их конфигурация могут корректироваться. Разработку планировочного решения проводят либо макетным, либо темплетным методом.

При последующей художественно-конструкторской разработке линий и комплектов основная задача — обеспечить однотипность компоновочного решения оборудования одного вида; эргоно-

мического решения рабочих мест в оборудовании со сходными операциями и композиционного решения основных объемов оборудования и т. п.

Процесс художественного конструирования ряда машин (линии или комплекта) выливается в процесс последовательно-параллельной проработки каждой единицы оборудования и всех машин, входящих в линию (комплект), что дает возможность обеспечить стилевое единство всего комплекта, а также облегчает поиск наиболее выразительной в художественно-конструкторском отношении формы каждой единицы. Унификация формообразующих и несущих элементов конструкций и выбор типовых приемов компоновки для однородного оборудования — необходимое условие проектирования линий и комплектов оборудования, которое приводит к композиционному единству оборудования. Этим решается и еще один главный вопрос — нахождение единого конструктивно-технологического решения стыков, сопряжений, сочленений при построении несущих и формообразующих элементов.

Ввиду того, что комплекты оборудования состоят из участков однородного оборудования, выполняющего законченную технологическую функцию и размещающегося часто в различных производственных помещениях, нет смысла обязательно стремиться обеспечить стилевое единство больших комплектов, важно обеспечить единство стиля в пределах участка однородного оборудования или одной линии.

Унификация формообразующих и несущих элементов и выбор типовых приемов компоновки (за счет чего в основном и может быть обеспечен стиль) возможен лишь для однородного оборудования. При анализе аналогов и прототипов важно выявить неизменную часть конструкции, которую возможно стандартизовать и провести через все виды оборудования, входящего в комплект или линию. Единое композиционное решение комплекта или линии оборудования позволяет найти правильное эргономическое решение рабочих мест.

Прорабатывая линию или комплект оборудования, необходимо, прежде проводить поиски вариантов всего комплекта в целом, выполняя эскизы различных вариантов компоновочного и композиционного решения всех единиц оборудования в одном масштабе, на одном листе в ортогональных проекциях. Это позволяет стандартизовать для всего комплекта габаритные размеры по высоте, длине и

ширине, увязать присоединительные размеры, найти единую закономерность метроритмического членения формообразующих конструкций (крышек, обшивок, панелей и т. п.), их пропорции. Лишь проведя такую общую, предварительную отработку компоновочного и композиционного решения комплекта и остановившись на выборе 1—2 вариантов, целесообразно переходить к более тщательному художественно-конструкторскому решению отдельных единиц, входящих в комплект, постоянно, увязывая отдельные решения с общим решением комплекта (или линии), найденным ранее.

## **15. ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ХУДОЖЕСТВЕННО-КОНСТРУКТОРСКОГО ТИПАЖА**

На технико-экономические показатели проектирования и производства влияет отсутствие однотипности аналогичных видов и неоправданное многообразие номенклатуры технологического оборудования.

Причиной медленного устранения большего количества типов и упорядочения номенклатуры является отсутствие общих методических принципов создания научно обоснованной системы типовых конструкций — типажа. Этот вопрос решается широкой унификацией узлов и деталей машин в процессе проектирования, развитием агрегатирования. Широко развивается унификация электрических и механических деталей и узлов машин (источников питания, преобразователей сигналов, редукторов, насосов, узлов передач и т. п.). В то же время при высоком уровне унификации и стандартизации комплектующих деталей и узлов имеется для многих видов, близких по своему назначению и технико-экономическим показателям машин, необоснованно различные компоновочные и конструктивно-технологические решения, разнообразные габаритные и присоединительные размеры и, следовательно, разнообразные художественно-конструкторские решения. Это происходит из-за недостаточного внимания, которое уделяется типизации формообразующих элементов конструкций машин (станин, каркасов, кожухов, крышек, обшивок, дверей и т. п.). Несущих и формообразующих элементов конструкций выпускается большое количество, они трудоемки и металлоемки в процессе производства и их типизация по конструкциям, размерам и формам даст ощутимый экономический эффект. Типизация

этих конструкций тем более целесообразна, что, как показывает практика проектирования, наиболее динамичной в своем развитии является активная часть оборудования, а более статичной — конструктивная часть, обеспечивающая неизменность положения в пространстве и на плоскости элементов активной части и определяющая художественно-конструкторское решение оборудования в целом. Под активной частью оборудования понимается совокупность механизмов и других функциональных узлов, непосредственно обеспечивающих выполнение данной технологической операции. С этой точки зрения типизация конструктивной части (т. е. несущих и формообразующих конструкций) позволит при осуществлении новых технологических процессов и новых функциональных принципов обеспечивать преемственность художественно-конструкторских решений за счет стабильности художественно-конструкторского решения.

При минимальных затратах на разработку типовых художественно-конструкторских решений может быть получена значительная экономическая эффективность в процессе проектирования (за счет применения при проектировании типовых решений) и в процессе производства (за счет применения типовой оснастки и типовых технологических процессов). Габаритные и присоединительные размеры оборудования влияют на использование дорогих производственных площадей, а однотипность его компоновки на повышение ремонтпригодности оборудования и облегчения его эксплуатации.

Разработка типажа должна преследовать не только создание оборудования с преемственностью технических параметров (мощности, производительности, точности и т. п.), т.е. создание гаммы оборудования, объединенного по своему функциональному назначению внутри видов, но и, что особенно важно в условиях серийного производства, создание типовых решений с преемственностью конструктивно-технологических и художественно-конструкторских особенностей конструкций (создание типовых решений каркасов, станин, крышек, кожухов, обшивок, применение типовых цветовых схем окраски, компоновочных и композиционных решений и т. п.).

Типаж — теоретически обоснованная совокупность конструкций однородного оборудования, объединенных общностью назначения и имеющих прогрессивную преемственность основных конструктивно-технологических и художественно-конструкторских характеристик, учитывающих существующую и перспективную потребность.

Однородная группа (тип оборудования)— классификационное подразделение оборудования, сходного по назначению, принципу действия, конструктивно-технологическому решению и т. п.

Из рассмотрения основных определений видны некоторые методические принципы построения типажа конструкций оборудования.

Системный подход к проектированию (который мы предполагаем при построении типажа) может дать только рассмотрение совокупности параметров, признаков и решений.

Все это говорит о том, что в основе построения научно-обоснованного типажа лежит всесторонняя, подробная классификация конструкций оборудования по ряду признаков.

Получить такую систему классификаций можно лишь в результате комплексного анализа оборудования, типаж которого необходимо разработать, и факторов, влияющих на выбор конструктивных решений в процессе проектирования. Комплексный анализ даст возможность установить и основные требования к проектируемому типуaju.

Первым методическим принципом построения типажа является создание обширной системы классификации конструкций оборудования.

Вторым необходимым условием построения типажа является разработка размерно-параметрического ряда.

При построении единичных моделей технологического оборудования процесс конструирования проводится обычно последовательно, начиная с определения функциональной схемы оборудования, затем разрабатываются принципиальные электрические и кинематические схемы, по которым определяются необходимые составляющие узлы и блоки оборудования. Согласно электрическим и кинематическим схемам узлов и блоков разрабатывается художественно-конструкторское и конструктивно-технологическое решение оборудования.

Процесс проектирования типажей имеет иную картину. При художественно-конструкторской разработке типажей оборудования чаще всего необходимо обеспечить опережающее развитие компоновочных и композиционных решений, а также несущих конструкций по отношению к разработке самих функциональных устройств оборудования.

Это возможно при наличии оптимального размерно-параметрического ряда, подробной классификации конструкций оборудования данного вида и знаний тенденций его развития на ближайшие 5-7 лет. Как правило, типаж данных конструкций оборудования может быть создан после определенного, достаточно большого конструкторского задела, однако правомерен путь и «опережающего» создания универсальных конструкций типажа на основе заранее разработанного классификатора. При этом конструктивные элементы системы должны предусматривать возможность осуществления гибкой компоновки в реальном оборудовании в зависимости от конкретных технических условий. Такой способ конструирования может заканчиваться созданием соответствующего стандарта. Он позволяет осуществлять предварительное изготовление типовых конструкций, сокращает трудоемкость проектирования и производства, способствует он и выработке единого стиля технологического оборудования.

Имея систему классификации конструкций и размерно-параметрический ряд, можно по-разному подойти к построению типажа оборудования. Можно определить два принципиальных пути. Первый - построение базового художественно-конструкторского и конструктивно-технологического решения (базовой модели) и дальнейшее развертывание его в систему модификации по значениям размерно-параметрического ряда. Второй – построение универсальных систем типовых конструктивных, компоновочных и формообразующих элементов и дальнейшее построение художественно-конструкторских модификаций путем комбинаторики из этих типовых элементов в заранее разработанных компоновочных схемах. При построении базовой модели чрезвычайно важно правильно выбрать главный параметр, точнее, систему главных параметров (внутренних и внешних).

Порядок работы по анализу и установлению оптимального типажа на основе базовой модели может быть следующим. Устанавливается диапазон наиболее часто встречающихся значений параметров или их сочетаний в отдельных моделях оборудования. В пределах установленных диапазонов выбираются конкретные значения главных параметров в соответствии с рядами нормальных размеров (или предпочтительных чисел). Производится синтез данного типажа в соответствии с принятыми значениями отдельных параметров. Назначается «базовая модель» и прогнозируются модификации типажа. На заключительном этапе синтезированный (вновь созданный) типаж

сопоставляется с существующими конструкциями с целью установления границ применимости данного типажа взамен существующих конструкций оборудования и во вновь проектируемых конструкциях.

Компоновочное, художественно-конструкторское и конструктивно-технологическое решение базовой модели наиболее просто может быть определено с помощью методов систематизации параметров. Методы систематизации решений, т. е. объединение их по общим для них признакам в таблицы систематизации, позволяют установить возможность повторного применения объектов систематизации при новом проектировании, а также выявить возможность их унификации и стандартизации. Систематизируются решения в порядке возрастания основного размера или параметра.

При анализе различных решений данного вида с помощью методов систематизации чрезвычайно важно выявить неизменную (или мало меняющуюся) часть конструкции. Ее необходимо по возможности стандартизовать и принять за базу при построении базовой модели. Художник-конструктор при этом особое внимание должен уделить выявлению и стандартизации компоновки формы и формообразующих конструкций. Однако применение метода систематизации возможно лишь в том случае, если проектируемое оборудование имеет глубокие аналоги и прототипы. В случае же проектирования принципиально новых видов оборудования, что часто имеет место в электронном машиностроении, выявить главные параметры для построения размерно-параметрического ряда и создания базовой модели можно, применяя методы научного прогнозирования. В случае прогнозирования должны быть выявлены две главные задачи: определены перспективные направления разработки данного оборудования; оценены значения параметров перспективного оборудования (основные тенденции в развитии параметров).

Наилучшие результаты для решения этих задач дает вероятностно-статистический подход и установление корреляционных связей между параметрами. Однако вероятностно-статистические методы предъявляют особые требования к исходной информации, поскольку в статистических данных могут быть допущены ошибки, случайные данные и т. п. Необходимо при анализе обеспечивать полноту, достоверность и однородность исходной информации.

Важное значение, для получения надежных результатов имеет форма представления статистических данных, предварительное придание им вида, повышающего однородность исходной информа-

ции. При прогнозировании параметров типажа исходные данные должны обладать рядом специфических свойств: должны быть устойчивы во времени; приведены к виду, удобному для сравнения; обладать максимальной информативностью и т. п.

Перечисленным выше требованиям лучше всего удовлетворяет информация в виде удельных характеристик, отношений параметров. Например, мощность/рабочий объем, мощность/полезная площадь, масса/общий объем, стоимость/мощность и т. п. Эти и некоторые другие соотношения обладают большой стабильностью, статистической устойчивостью и достоверностью. Если строить графические зависимости, можно ожидать тех или иных значений удельных характеристик, которые будут определять технический уровень оборудования данного вида. Тем самым можно прогнозировать значение параметров базовой модели и модификаций при построении типажа.

При разработке художественно-конструкторского решения базовой модели необходимо обеспечить характеристичность художественно-конструкторского решения; его стабильность, относительную независимость художественно-конструкторского решения.

Характеристичность художественно-конструкторского решения – наиболее полное выражение конструктивных, технологических и эстетических показателей конструкции. При этом для каждой базовой модели должно находиться и оптимально соответствовать ей характерное композиционное, пропорциональное, пластическое и цветовое решение, выбранное безусловно с учетом требований эргономики. Этим самым обеспечивается стиль тайного типажа оборудования.

Стабильность художественно-конструкторского решения – его неизменность при конструктивных модификациях и несущественных технических усовершенствованиях оборудования. Это эстетическая творческая ценность художественно-конструкторского решения. Важно, чтобы выбранное художественно-конструкторское решение не связывало конструктора и не препятствовало внесению изменений, улучшающих технические показатели на определенный период существования типажа.

Относительная независимость – устойчивость выбранного художественно-конструкторского решения от таких часто изменяемых факторов, как технология изготовления приборов, принятая ме-

тодика расчета нормативных данных по массе, применяемых материалов и т.п.

При разработке базовых моделей машин стремятся осуществить широкую внутриотраслевую и межотраслевую унификацию узлов и агрегатов, осуществить широкую внутривзаводскую унификацию узлов и деталей собственного производства.

Создавая базовую модель, чаще всего стремятся применять агрегатирование – создавать законченные базовые агрегаты: насосы, электромеханические и гидравлические узлы, электрические блоки и уже из них компоновать базовую модель на типовой несущей конструкции (каркасе).

Агрегатирование представляет собой способ проектирования, основанный на геометрической и функциональной взаимозаменяемости отдельных агрегатов и узлов. Он основан на рациональном членении изделия на агрегаты, каждый из которых выполняет определенную функцию и представляет собой конструктивно-технологически законченное изделие, которое может быть использовано при создании различных модификаций оборудования.

Основной задачей художника-конструктора является разработка типовой несущей конструкции (каркаса), позволяющей легко развивать компоновочные варианты модели, одинаково оптимальные с точки зрения пропорционального и метроритмического построения. При этом по возможности должна предполагаться децентрализованная компоновка конструкции, при которой каждый модуль представлял бы собой законченный агрегат. В этом случае и сама несущая конструкция, как правило, также строится по модульному принципу.

Модульное проектирование позволяет решать и вопросы чисто композиционного объединения отдельных элементов оборудования в единый, гармоничный композиционно законченный комплекс.

При разработке типажей на основе базовой модели в определенные моменты возникает необходимость разрыва серии модификаций на основе одной базовой модели – переход к качественно другому конструктивно-технологическому и художественно-конструкторскому решению при достижении теми или иными главными параметрами своего предельного значения для данного уровня развития. Возникает необходимость создания новой базовой модели. В этом аспекте основная задача при построении типажей на основе

базовых моделей – правильно выбрать предельные значения параметров (технических и художественно-конструкторских). Однако, создавая базовую модель с уже установленными внешними параметрами и предполагая, что дальнейшие конструкции развиваются на ее основе, мы проявляем известный консерватизм в конструктивно-технологическом и художественно-конструкторском решении.

Художнику конструктору часто выгоднее применить второй способ построения типажа - не жесткую систему типажа, построенную на основе вполне конкретной базовой конструкции, которая может не удовлетворять его в поисках частных компоновочных решений, а гибкую систему унифицированных конструкций (силовых, компоновочных и формообразующих) - своего рода набор типа детского конструктора. В этом смысле он связан лишь размерно-параметрическим рядом и может, основываясь на подробном классификаторе, проводить рациональное проектирование.

Создавая такую систему, следует удовлетворять следующим основным условиям. Конструктивный модуль системы должен по возможности совпадать с размерным модулем размерно-параметрического ряда, конструктивные элементы системы должны быть полностью унифицированы, обладать высокой технологичностью в условиях серийного производства, обладать широкой вариабельностью при компоновке, система конструкций должна полностью удовлетворять требованиям компоновки для данного вида (или видов) оборудования.

Разработка типажа современных конструкций, тем более с применением методов художественного конструирования, требует существенных затрат. Пока текущие разработки модификаций оборудования будут обеспечиваться данным типажом, с относительно небольшими затратами, необходимо все усилия направить на разработку нового перспективного типажа на последующие 5—7 лет. Этим будет обеспечиваться неуклонное создание высокого уровня разработок оборудования и обеспечение запаса его морального износа как по конструктивно-технологическим, так и по художественно-конструкторским параметрам. В дальнейшем необходима организация централизованного специализированного производства универсальных стандартных элементов и поставке их на серийные машиностроительные предприятия как комплектующих элементов.

## 16. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЭРГОНОМИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

В процессе конструирования оборудования вопросы улучшения условий работы и удобства обслуживания оборудования человеком-оператором занимают важнейшее место. Этой задаче подчиняются и компоновка основных узлов и блоков оборудования, и расположение органов управления и устройств отображения информации на информационных панелях, и последовательность технологических операций, производимых оператором, и многое другое. Воплотить в изделии сочетание высоких технических показателей с гармоничной формой и удобными условиями эксплуатации можно только при самом глубоком эргономическом анализе изделия в процессе конструирования, при непосредственном использовании в конструировании достижений эргономики.

Эргономика изучает функциональные возможности и особенности человека в трудовых процессах с целью создания оптимальных условий, в которых труд становится высокопроизводительным и надежным. Проблема согласования характеристик человека-оператора и машины не может быть полностью решена путем простого приспособления человека к машине, тренировки человека-оператора.

Исследования в области эргономики и практические данные, которые она дает в руки проектировщикам, позволяют учитывать психофизиологические возможности человека уже на ранних стадиях проектирования, тем самым, создавая предпосылки целенаправленной работы, по созданию оптимальных конструкций. Сущность эргономики как раз и заключается в том, что она рассматривает машину и человека, обслуживающего ее, как единую систему и считает своей задачей повышение эффективности этой единой системы с самого начала работы над проблемой. Эргономику определяют при проектировании как науку об оптимальном синтезе системы «человек—машина—среда» по комплексному многофакторному критерию оптимальности, учитывающему во взаимосвязи инженерно-технические, психологические, физиологические, антропометрические и гигиенические факторы.

Требование высокой эффективности и надежности действий оператора, обеспечивающих оптимальное использование возможностей сложного технологического оборудования и аппаратуры, не-

разрывно связано с необходимостью создания наилучших условий для его работы, с учетом психофизиологических особенностей человека как звена в системе управления.

Постоянное повышение сложности оборудования электронного машиностроения вызывает необходимость систематического уточнения требований эргономики и изучения новых требований к поведению человека-оператора при обслуживании машин. Перед инженерами-конструкторами и психологами стоит при этом задача критического изучения психофизиологических возможностей человека с целью нахождения оптимальных параметров системы человек – машина. Решение этой задачи позволяет, с одной стороны, значительно снизить влияние фактора психофизиологической нагрузки на оператора, а с другой – повысить эффективность использования сложных машин.

Работа по эргономической отработке конструкций не сводится при этом лишь к улучшению отдельных характеристик системы (разработка более удобных ручек управления, антропометрическая отработка размеров рабочей зоны и т. д.), а заключается в решении всей системы в целом с переходом от общего решения задачи для всей системы к частным решениям ее звеньев.

Цель состоит не только и не столько в том, чтобы рассчитать машину в соответствии с психофизиологическими возможностями оператора, сколько в том, чтобы вся система человек – машина была оптимизирована.

Прежде чем остановиться подробно на основных принципах эргономического проектирования машин, остановимся на понятии системы человек—машина—среда.

Система человек – машина представляет собой любую группу людей и машин, которая работает как одно целое при выполнении поставленной задачи. Определение системы является условным и зависит от цели, для которой она создана, и от выполняемой ею работы. Надо иметь в виду, что малая система почти неизменно является частью большой системы, и что работа одной зависит от работы другой.

Несмотря на то, что в настоящее время разрабатывается автоматизированное и полностью автоматическое оборудование, которое сводит роль человека к минимуму, люди являются неотъемлемой частью работы почти всех систем. Человек решает, где и как исполь-

зовать машины, вводит входную информацию в машину и выполняет действия, основанные на выходящей из нее информации.

В будущем функции оператора еще больше изменятся при включении УВМ в структурную схему. Как известно, эти машины могут управлять работой агрегата по оптимальной программе, поддерживать заданный режим работы, предупреждать аварии, сигнализировать о начавшихся неполадках процесса. В этом случае, главной задачей оператора станет контролирование работы УВМ. Однако и машины могут хорошо работать только в том случае, когда человек правильно эксплуатирует и хорошо обслуживает их .

Комплексная автоматизация производственных процессов изменила само содержание трудового процесса, и в настоящее время он все более представляет собой участие оператора в сложных системах управления. Это предполагает наличие у оператора определенных психофизиологических качеств.

Основным содержанием трудового процесса становится сложный комплекс умственной деятельности с элементами физической работы. Это вызывает настоятельную необходимость в комплексном подходе к исследованию трудового процесса средствами физиологического и психологического анализа.

На формирование исследований по эргономике существенное влияние оказывают следующие ниже основные тенденции развития современной техники.

1. Все расширяющееся внедрение комплексной механизации и автоматизации. Если в прошлом трудовой процесс осуществлялся со значительным использованием мускульной силы рабочего, то при обслуживании современных автоматизированных установок главными функциями человека становятся программирование, управление и контроль. Оператору часто приходится одновременно управлять системой машин, включающей различное оборудование, аппаратуру и приборы, применяемые в одном производственном процессе.

2. Расширение дистанционного управления. Возникает большое число промежуточных (между человеком и техникой) информационных элементов, а также технических устройств, позволяющих человеку оперативно регулировать ход производственного процесса на расстоянии.

3. Интенсификация производственных процессов. Она проявляется в быстром росте всех рабочих параметров оборудования —

скоростей, мощностей, давлений, вакуума, температур, степени непрерывности и т. п.

Широкое внедрение в промышленность средств автоматизации и вычислительной техники ведет к неуклонному росту доли диспетчерского и операторского труда.

Характерной особенностью труда диспетчеров и операторов является то, что они имеют дело не непосредственно с самими управляемыми объектами, а с их информационными моделями.

Оценка состояния объекта и принятие решений производится человеком по неполной информации и носит статистический характер. В этих условиях для обеспечения надежности системы должна воспроизводиться информация, наиболее существенная с точки зрения конкретных функций оператора. При этом она должна воспроизводиться в количествах, соответствующих реальным возможностям человека по ее переработке и в форме, максимально облегчающей ее восприятие и расшифровку.

Все это выдвинуло перед эргономикой целый ряд новых психофизиологических проблем. К ним относятся: оптимальное распределение функций между человеком и автоматическими информационно-управляющими устройствами, представление человеку информации о состоянии управляемого объекта, организация дистанционного воздействия оператора на ход технологических процессов, обеспечение операторам и диспетчерам общих благоприятных условий труда и т. п.

Основной теоретической задачей инженерной психологии при этом является выяснение закономерностей деятельности человека по приему, переработке и передаче информации, циркулирующей, в системе «человек—машина». Таким образом, проблема приспособления машины к человеку последнее время выступает в совершенно новом аспекте. Если раньше при разработке и конструировании машин речь шла главным образом об учете анатомических и физиологических особенностей человека, то теперь на первый план выдвинут вопрос об учете особенностей психических.

Конструкторов современных машин, прежде всего, интересуют особенности восприятия, внимания, памяти и мышления человека. Вопросы же оптимальной рабочей позы, рациональной организации движения и т. п. становятся подчиненными. Они рассматриваются лишь в связи с анализом общих условий деятельности человека, основным содержанием которой является прием информации от ма-

шин, ее преобразование, формирование решений и команд, и выполнение управляющих действий.

В связи с изучением индивидуально-типологических свойств операторов возникает задача профессионального отбора операторов с целью повышения надежности систем «человек—машина», особенно существенная для проектирования и эксплуатации монтажно-сборочного оборудования.

Одной из актуальных проблем инженерной психологии становится и проблема «человек—коллектив», которая заключается в совместимости операторов, имеющих различные психофизиологические особенности, при групповой деятельности.

Эта проблема начинает играть в электронном машиностроении все более существенную роль в связи с переходом от создания отдельных единиц оборудования к проектированию линий, комплектов оборудования и отдельных единиц оборудования с групповыми рабочими местами. Многие испытуемые действуют в составе групп (в коллективе) иначе, чем в индивидуальном эксперименте, а это свидетельствует о невозможности прогнозировать групповую деятельность операторов на основе индивидуального (изолированного) изучения каждого из ее участников. Для оценки характера групповой деятельности введено понятие психофизиологической совместимости операторов.

На основании анализа групповой деятельности можно решать задачи оптимального пространственного размещения ее членов и организации их рабочих мест. Это может дать конкретные рекомендации при построении комплектов и линий оборудования. Такой анализ позволяет провести и оптимальный подбор групп операторов по квалификации и индивидуальным особенностям.

С точки зрения эргономики при проектировании технологического оборудования и аппаратуры должны быть решены следующие основные проблемы: обеспечена оперативность, удобство и безопасность обслуживания оборудования оператором; обеспечен требуемый уровень надежности человека-оператора с точки зрения его психофизиологических возможностей; обеспечен оптимальный объем и вид информации, передаваемой оператору; решены проблемы групповой деятельности операторов (при проектировании линий и комплектов оборудования и оборудования с групповыми рабочими местами).

Исследование и проектирование систем «человек-машина» в целом может быть рассмотрено как задача оптимизации, содержащая три этапа:

1. Выбор критерия оптимизации, т.е. выбор количественного показателя, по которому ищется оптимальное эргономическое решение.

2. Разработка модели, т. е. определение связей и зависимостей выбранного критерия от различных параметров, которые должны быть учтены.

3. Проведение собственно отработки различными методами, при которой оптимизируется выбранный критерий.

На первых двух этапах проводится глубокий и всесторонний эргономический анализ системы. При этом эргономический анализ предполагает:

1. Определение назначения и условий работы технологического оборудования с целью формирования комплекса эргономических требований;

2. Составление перечня основных функций машины в технологическом процессе;

3. Распределение функций между оператором и технологическим оборудованием;

4. Анализ биомеханических функций оператора в системе;

5. Анализ динамических свойств технологического процесса с точки зрения его влияния на скорость и точность действия оператора;

6. Анализ информационных потоков в системе и их распределение по степени важности.

Эргономическая отработка, проводимая на 3 этапе оптимизации, предполагает:

1. Антропометрическую отработку рабочего места (габаритов, зон подхода и т. п.);

2. Определение оптимальных рабочих зон и зон досягаемости на рабочем месте;

3. Выбор типа и конструкции устройств отображения информации (при необходимости художественное конструирование устройств отображения);

4. Выбор типа и конструкции устройств управления (при необходимости художественное конструирование устройств управления);

5. Компоновку информационных панелей;
6. Создание посадочных макетов оборудования и аппаратуры для экспериментального исследования эффективности эргономического решения (при необходимости);
7. Экспериментальные исследования эффективности действий оператора;
8. Уточнение эргономических параметров оборудования и аппаратуры.

Решением всех перечисленных задач и достигается оптимизация системы «человек—машина».

Существует ряд принципов оптимального построения системы «человек – машина».

Первый принцип, который должен быть проведен через весь процесс проектирования – это рассмотрение человека-оператора как главного, основного элемента всей системы, т.е. все вопросы инженерного проектирования рассматриваются в аспекте – главное человек-оператор.

Это учитывают при формулировании общих принципов и общих требований и при определении критериев оптимизации системы и в определении характера ограничений - граничных параметров, которыми в данном случае будут параметры человека-оператора.

Человека-оператора при этом рассматривают как важнейшее согласующее звено системы, объединяющее автоматизированную и неавтоматизированную части системы, предполагая, что в звене, которое представляет собой человек-оператор, преломляются все виды информации, вырабатываемые в системе независимо от степени ее автоматизации.

Второй принцип заключается в том, что, проектируя систему, в которой предполагается взаимодействие оператора с машиной, следует стремиться к наиболее полному использованию потенциальных возможностей оператора как звена системы.

Недоиспользование потенциальных возможностей человека-оператора говорит о неоптимальном построении системы и приводит к возникновению так называемого «сенсорного голода».

Правда, при эксплуатации технологического оборудования и аппаратуры этого не происходит, так как оператор загружен умеренной ритмичной работой в течение всей смены, средние потоки ин-

формации к оператору определяются параметрами технологических процессов и для оператора заранее определены по своему объему.

Третьим принципом, которым следует руководствоваться, является стремление обеспечить простоту и естественность взаимосвязи оператора с машиной путем рационального выбора соответствующих устройств отображения информации и управления.

Эти и другие принципы эргономического проектирования основаны, прежде всего, на знании психофизиологических особенностей и биомеханических возможностей человека в трудовых процессах. При реализации указанных выше принципов эргономического проектирования обеспечивается выполнение четырех главных условий:

1. Биологическая совместимость оператора, машины и среды. Она состоит в том, чтобы обеспечить оптимальное соотношение между физиологическим состоянием и работоспособностью оператора, с одной стороны, и различными факторами окружающей среды - с другой. Оцениваются номинальные и предельные значения: параметров микроклимата пространства вокруг оператора (состав воздуха, температура, влажность, движение, давление, радиация, ионный состав); параметров машин (вибрации, освещение, акустическая среда), с точки зрения психофизиологических возможностей оператора.

2. Пространственно-антропометрическая совместимость, состоящая в том, чтобы, исходя из антропометрических характеристик и физиологических особенностей человека-оператора, обеспечить в проектировании рациональное решение рабочей зоны, создать рациональное сидение, обеспечить компоновку панелей и пультов управления в пределах оптимальной зоны и т. п.

3. Энергетическая совместимость, которая заключается в создании таких конструкций оборудования, чтобы устройства их управления соответствовали энергетическим (моторным) возможностям оператора: по прилагаемой силе, затрачиваемой мощности, скорости, точности и темпу управляющих действий, по оптимальной нагрузке конечностей оператора, по разделению функций между ними.

4. Информационная совместимость, заключающаяся в согласовании оператора и машины по объему информации, чтобы оператор не перегружался приемом и переработкой избыточной и ненужной информации. Основной при этом является задача выбора вида и типа устройств отображения информации, обеспечивающей операторо-

ру минимальное время латентного периода, особенно в условиях стрессовых ситуаций.

Рабочее место является первичным и главным элементом в структуре производства, элементом, где происходит непосредственное взаимодействие оператора и машины, поэтому конечной целью эргономической отработки конструкций оборудования является оптимизация рабочего места с точки зрения психофизиологических возможностей и биомеханических особенностей человека-оператора.

Рационально организовать рабочее место – значит, создать оператору наиболее благоприятные условия для выполнения производственных функций при условии полного использования рабочего времени с целью достижения максимальной производительности с наименьшими затратами физического и умственного труда.

Рабочее место — это определенный участок производственной площади с размещенным на нем оборудованием и технологической оснасткой, закрепленный за одним или несколькими рабочими для выполнения производственных функций. В электронной промышленности, где преобладает труд операторов, в составе взаимосвязанных участков и линий полуавтоматического оборудования, рабочим местом (для каждой единицы оборудования) можно считать часть оборудования, где сосредоточены его рабочие органы, смонтированы пульта управления и информационные панели. Приступая к эргономической отработке рабочего места, необходимо четко выяснить сущность технологических операций на данном рабочем месте, обратив особое внимание на точность и критичность выполняемых операций, а также на основную рабочую позу оператора в процессе труда.

Таким образом, в основе эргономического решения рабочего места должна лежать классификация оборудования по эргономическому признаку, в частности по виду рабочих зон. В основу такой классификации положено деление оборудования (рабочих мест) на три группы по степени автоматизации операций, выполняемых оператором: автоматическое (автоматы), полуавтоматическое или механизированное (полуавтоматы), оборудование с ручными операциями.

При этом важнейшим признаком, который определяет подход к эргономическому решению оборудования для всех перечисленных групп оборудования, является пол оператора. В результате такой классификации могут быть определены типовые антропометрические и биомеханические параметры и психофизиологические

требования к отдельным видам оборудования. Учитывая, что многие вопросы эргономической оптимизации рабочего места определяются его компоновкой, процесс эргономической отработки начинают еще на стадии эскизного проектирования, в ходе поисков компоновочного варианта оборудования. В процессе компоновки оборудования на формирование рабочего места существенно влияют характер компоновки оборудования (централизованная или децентрализованная компоновка), форма панелей управления и информационных панелей на рабочем месте, характер планировочного решения данного производственного участка, линии или комплекта оборудования.

Выбор централизованного или децентрализованного способа компоновки оборудования определяет в целом структуру рабочего места – наличие в ней устройств управления и устройств отображения информации, сосредоточенных в общем пульте управления или распределенных во всех элементах системы.

Так как основными элементами рабочего места в автоматическом и полуавтоматическом оборудовании являются панели (панели управления и информационные панели), то выбор формы панелей также существенно влияет на оптимальность рабочего места.

Планировочное решение данного производственного участка, линии или комплекта оборудования существенно влияет на эргономическое решение рабочих мест. Поиски планировочного решения данного участка или линии проводятся на стадии эскизного проектирования с помощью темплетов – упрощенных плоскостных масштабных изображений оборудования в плане (или проекциях).

При планировочном решении участков, линий или комплектов оборудования учитывают структуру рабочего места, при этом по общему принципу устройства рабочее место разделяют на две зоны: основную (рабочую) и вспомогательную (зону подхода). Основная зона охватывает рабочую поверхность столешницы, панель пульта или рабочий орган оборудования и т. п., т. е. место непосредственного контакта оператора с предметом и орудием труда. Вспомогательная зона охватывает подсобное оборудование и инвентарь, стеллаж с материалами, приборами и т. п.

Структура рабочего места при планировочном решении должна соответствовать содержанию работы и последовательности приемов ее выполнения.

Учитывая такое деление рабочего места на зоны и требования эргономики, проектируют элементы рабочего места. Как показывают

эргономические замеры, минимальная площадь рабочего места должна быть 1,2 м<sup>2</sup> (без учета проходов, площади оборудования и т.п.). Эта площадь меняется в зависимости от конкретных условий. Рабочая поза оператора оказывает существенное влияние на подход к эргономическому решению рабочего места.

Рабочая поза – это координированное положение корпуса, головы, рук и ног оператора относительно технологического оборудования. При нерациональной позе уменьшается точность и скорость движений, быстрее наступает общее утомление, что сказывается на надежности работы оператора. Постоянное пребывание в неудобной позе, способствует возникновению ряда профессиональных заболеваний. Рабочая поза должна быть свободной, удобной и естественной. Выбор той или иной рабочей позы определяется размерными соотношениями всех элементов, составляющих рабочее место, и особенно размерами рабочей зоны; траекториями движений; величиной требуемых рабочих усилий; характером рабочих усилий (динамические, статические); необходимыми углами обзора; требуемой точностью выполнения операций, степенью внимания, напряжения зрения.

Наиболее рациональной с точки зрения эргономики является рабочая поза в положении сидя. Если в рабочей позе в положении сидя мышечную работу принять равной единице, то при выполнении той же работы в положении стоя мышечная нагрузка возрастает в 1,6 раза, а при наклонной работе в положении стоя почти в 10 раз.

Поэтому при проектировании оборудования по возможности необходимо всегда обеспечивать работу оператора в положении сидя как создающем наименьшие статические напряжения. При этом наиболее оптимальной рабочей позой следует считать позу, при которой оператору не требуется наклоняться вперед больше чем на 10—15 град., а наклоны назад и в стороны минимальны.

Положение головы имеет большое значение. Угол зрения по отношению к горизонтали должен составлять 38°.

При работе в положении сидя большое значение для обеспечения правильной позы оператора имеет правильный выбор параметров рабочего кресла оператора. Часто, наиболее оптимальной является попеременная работа оператора в положениях сидя - стоя. При работе стоя энергии затрачивается больше, чем при работе сидя, и поэтому быстрее наступает усталость. Мышцы ног, спины, таза при работе в положении стоя несут большую нагрузку. Постоянно повто-

ряющаяся работа в положении стоя приводит к расслаблению мышц ног. Снижение упругости мышц является причиной повышения артериального и венозного давления, вызывающего расширение вен. В этой позе человек обладает максимальными возможностями в отношении обзора, передвижения, досягаемости органов управления и развиваемого усилия. При этой позе устройства управления и устройства отображения можно размещать в широкой фронтальной зоне. В электронном машиностроении широко применяется работа оператора в положении стоя для решения таких видов оборудования, как вакуумное, эпитаксиальное и т. п., в которых предусмотрено полуавтоматическое и автоматическое протекание рабочего цикла.

В тех случаях, когда применяется работа, в положении стоя, важно обеспечить оператору наиболее удобную вертикальную позу со слегка наклонным туловищем. Высота до рабочей поверхности при работе в положении стоя должна быть на 50—100 мм ниже локтя или составлять 60% роста работающего. Исходя из этих данных, следует обеспечить высоту до рабочей поверхности оборудования в пределах 700—1100 мм или устраивать ее регулируемой.

Выбор рабочей позы определяет при дальнейшем проектировании габаритные размеры оборудования в зоне рабочего места, высоту столешниц и рабочих мест, ширину столешниц, глубину пультов и т. п., а также положение зон компоновки, устройств отображения информации и устройств управления.

Решающее значение на этом этапе эргономической отработки рабочего места имеет правильный учет антропометрических особенностей строения тела человека-оператора. Антропометрия – метод исследования тела человека путем измерения его роста, веса, пропорций. Она помогает правильно спланировать рабочее место, обеспечить рациональную рабочую позу, правильно решить в дальнейшем вопросы биомеханики на рабочем месте и обеспечить тем самым минимальный расход энергии, снизить утомление, а значит, повысить производительность труда.

Антропометрические данные можно определить двумя путями: ориентируясь на «среднего» оператора (рабочее место будет при этом оптимальным только для относительно малого числа лиц); используя статистический материал (рабочее место будет оптимальным для максимального числа лиц).

В практике проектирования оборудования электронного машиностроения наиболее широко применяется второй путь.

Антропометрические данные, удовлетворяют всем случаям практического эргономического проектирования. Они позволяют определить размерные построения рабочих мест в положении сидя, стоя и сидя—стоя.

Помимо общих размерных построений, которые позволяют найти антропометрические данные, в каждом рабочем месте для удобства дальнейшей компоновки выделяются определенные рабочие зоны пространства, удобные (или неудобные) для компоновки в них устройств управления и устройств отображения информации.

Размеры этих зон зависят от антропометрических характеристик, биомеханических возможностей человека, особенностей труда, рабочей позы, одежды оператора и других факторов.

Выделяют три рабочие зоны: оптимальную рабочую зону; нормальную рабочую зону; зону максимальной досягаемости.

Зона максимальной досягаемости условно ограничивается дугой, проведенной из плечевой точки, радиусом, равным длине редуцированной руки. Использование этого параметра обеспечивает возможность хорошего захвата органа управления в рабочей зоне.

Работа в пределах этой зоны требует напряжения мышц плечевого пояса и плеча. Движения, выполняемые с помощью этих мышц, не отличаются большой точностью и быстротой, связаны со значительной затратой энергии и быстро приводят к утомлению. Поэтому основные и часто используемые органы управления должны располагаться в пределах нормальной рабочей зоны.

Эта зона ограничивается дугой, описываемой согнутой в локтевом суставе редуцированной рукой с относительно неподвижным плечом.

Во многих случаях нормальная рабочая зона вообще не выделяется как не определяющая степени оптимальности компоновочного решения. Устанавливаются лишь зона максимальной досягаемости и оптимальная рабочая зона.

Иногда при упрощенном проектировании рабочего места вообще нет смысла определять строго границы рабочих зон, а достаточно знать уровни расположения основных частей тела оператора. В соответствии с этими уровнями в дальнейшем приближенно определяются и компоновочные зоны (зоны компоновки устройств отображения информации, органов управления и т. п.).

После определения размерных построений, рабочего места, определения границ рабочих зон и зон компоновки наиболее важной

задачей в решении рабочих мест становится правильное формирование сенсорного и моторного полей.

Правильное их формирование позволяет в свою очередь провести необходимую корректировку размеров рабочего места и зон компоновки и закончить, таким образом, окончательную эргономическую отработку рабочего места. Такая проработка проводится дважды – на стадии эскизного и технического проектирования, ввиду того что эскизное компоновочное решение, как правило, корректируется (иногда в очень значительной степени) на стадии технического проектирования.

Сенсорным полем условно называют совокупность всех потоков информации, поступающих от устройств отображения информации к оператору.

Под моторным полем условно понимается совокупность ответных действий оператора по регулированию отклонений параметра. Многочисленные исследования показывают, что оптимальность организации сенсорного поля, т. е. наиболее рациональное формирование потока информации, выделение в нем главной; информации, правильное представление информации оператору (в наиболее наглядной и понятной форме, исключающей кропотливую расшифровку ее оператором) и т. п., в значительной степени зависит от правильности выбора типа и конструкции устройств отображения информации и их компоновки на информационных панелях. Основную роль здесь играют психофизиологические возможности человека-оператора.

Организация моторного поля определяется сенсорным полем и главную роль здесь играют биомеханические особенности человека-оператора, причем эффективность моторных действий оператора зависит от правильности выбора типа и конструкции органов управления.

Основное условие, которое стремятся выполнить при компоновке устройств отображения информации, — разместить их в оптимальных зонах поля зрения.

При компоновке устройств отображения информации в оптимальных зонах поля зрения учитывают следующие основные факторы: последовательность считывания информации; степень важности считываемой информации; степень точности, с которой та или иная информация должна быть считана, частоту снятия показаний и т. п.

При организации моторного поля необходимо учитывать структуру и возможности двигательного аппарата человека-оператора: размах (амплитуду) движений в суставах, их силу, быстроту и точность.

В отраслевом стандарте приведены максимальные величины усилий оператора. Максимальное усилие развивается в положении стоя на уровне плеча, а в положении сидя на уровне локтя. При движении к себе усилие может достигать 800 Н, а усилие рывка 1000—1100 Н.

Величина силы Р, Н, рук оператора (в возрасте 20–25 лет) в положении сидя, в зависимости от положения руки (верхнее положение руки  $\Gamma = 0^\circ$ , нижнее  $\Gamma = 180^\circ$ ) рассчитывается по формулам, позволяющим определить экстремальное значение силы.

При толкании от себя правой рукой

$$P = 720 - 8,1660 \cdot \Gamma + 0,05 \cdot \Gamma^2, \quad (1)$$

левой рукой

$$P = 520 - 4,6667 \cdot \Gamma + 0,033 \cdot \Gamma^2. \quad (2)$$

При толкании вниз правой рукой

$$P = -240 + 8,833 \cdot \Gamma - 0,03888 \cdot \Gamma^2, \quad (3)$$

левой рукой

$$P = -170 + 7,333 \cdot \Gamma - 0,03333 \cdot \Gamma^2. \quad (4)$$

При толкании правой рукой вправо

$$P = 310 - 2,666 \cdot \Gamma + 0,0111 \cdot \Gamma^2, \quad (5)$$

левой рукой влево

$$P = 30 - 2,833 \cdot \Gamma - 0,01666 \cdot \Gamma^2. \quad (6)$$

При тяге правой рукой к себе

$$P = -750 + 16,166 \cdot \Gamma - 0,05 \cdot \Gamma^2, \quad (7)$$

левой рукой

$$P = -500 + 11,666 \cdot \Gamma - 0,03333 \cdot \Gamma^2. \quad (8)$$

При тяге правой рукой вверх

$$P = -50 + 5,333 \cdot \Gamma - 0,0222 \cdot \Gamma^2, \quad (9)$$

левой рукой

$$P = 80 + 2,666 \cdot \Gamma - 0,01111 \cdot \Gamma^2. \quad (10)$$

При тяге правой рукой справа

$$P = 40 + 2,9999 \cdot \Gamma - 0,01111 \cdot \Gamma^2, \quad (11)$$

левой рукой слева

$$P = -140 + 4,8333 \cdot \Gamma - 0,01666 \cdot \Gamma^2. \quad (12)$$

В заготовительном и штамповочном оборудовании электронного машиностроения применяется педальное управление оборудованием. Величина развиваемых усилий при этом меняется в зависимости от положения ноги и рабочей позы оператора. Сила  $P$ , давления ног меняется и по мере отклонения от медиальной линии в пределах  $\Gamma = 0 - 20^0$  и может быть определена по формуле

$$P = 115 - 2,4 \cdot \Gamma + 0,02 \cdot \Gamma^2. \quad (13)$$

При организации моторного поля человека-оператора одним из основных является вопрос правильного выбора рабочих траекторий оператора и оценки быстроты его движений. Быстрота движений оценивается скоростью и частотой (темпом движения).

Скорость движения зависит от характера рабочих движений, их направления и траектории.

При выборе траекторий и направления рабочих движений необходимо учитывать следующие основные данные: непрерывные криволинейные движения выполняются быстрее, чем одиночные с внезапным изменением направления; скорость вращательных движений в 1,5—2 раза больше скорости поступательных движений; скорость горизонтальных движений больше, чем вертикальных; плавные, закругленные движения быстрее прямолинейных с резким внезапным изменением направления; наиболее предпочтительны движения к себе и справа налево; при работе обеими руками движения должны быть симметричными и противоположными по направлению; обе руки должны по возможности одновременно начинать и заканчивать действие; каждое движение должно заканчиваться в положении, удобном для начала следующего движения; рабочие движения по возможности следует свести к движениям предплечья, кисти, пальцев рук, допуская движение плечевого пояса только в виде исключения; количество и траектории рабочих движений должны быть сокращены до минимума.

Направление и траектория движений должны выбираться и с учетом требуемой точности рабочих операций.

Точность выполнения рабочих операций зависит и от выбора позы оператора – в положении сидя точность движений выше, чем в положении стоя. При оценке быстроты движений необходимо оценивать не только их скорость и точность, но и их частоту (темп). Частота (темп движений) – количество повторных движений за опре-

деленный промежуток времени. С увеличением продолжительности работы частота движений уменьшается.

Оптимальность моторного поля человека-оператора определяется правильным выбором направления и траекторий движения, скорости и частоты движений; общего количества рабочих движений, соответствующего двигательного аппарата (по мышечным усилиям); типа и конструкции органов управления; компоновки органов управления на панелях.

При проектировании рабочих мест особое внимание следует уделять созданию оптимального светового климата, который при правильной организации сенсорного и моторного полей играет важнейшую роль в обеспечении точности и надежности выполняемых оператором действий. Для правильной и рациональной компоновки системы освещения на рабочем месте необходимо знать специфику технологического процесса, скорость и точность рабочих операций оператора, длительность выполнения тех или иных операций.

Необходимо стремиться к равномерному освещению объекта труда, обеспечивать оптимальный контраст между объектом труда и фоном, достаточный уровень освещенности, отсутствие блеска от источника света и от рабочей поверхности, соответствующее качество и цвет светильников и рабочих поверхностей в зрительном поле.

Эргономическое решение рабочих мест проводится на стадии как эскизного, так и технического проектирования. Отдельные вопросы (например, вопросы компоновки лицевых панелей) могут решаться и на рабочей стадии. От стадии к стадии могут меняться методы эргономической отработки конструкций, остается неизменным лишь общий подход к решению системы человек-машина – всесторонний анализ психофизиологических возможностей человека в трудовых процессах, постепенная реализация эргономических требований.

## **17. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛИЦЕВЫХ ПАНЕЛЕЙ**

Дальнейшее развитие технологического оборудования характеризуется его усложнением, созданием механизированных поточных линий и автоматических комплексов с управлением от ЭВМ. Повышение производительности оборудования достигается созданием систем с большим количеством технологических операций или

обеспечивающих ускоренные технологические процессы. Оператор получает большой объем информации от всевозможных устройств отображения информации. Управлять этими многофакторными и ускоренными процессами оператору становится все труднее, ибо количество информации, поступающей к нему в единицу времени, оказывается очень большим и может превышать возможности его сенсорного входа. Сложная техника может терять свою эффективность, если не уделять серьезного внимания конструированию средств накопления, переработки и передачи информации оператору с учетом принципов эргономики и технической эстетики.

Непосредственное взаимодействие человека со сложным оборудованием, как известно, происходит через пульт управления, поэтому одним из важнейших объектов художественного конструирования и эргономической отработки в процессе проектирования комплектов оборудования, полуавтоматических и автоматических поточных линий и отдельных сложных базовых моделей оборудования являются пульта управления и лицевые панели.

Коэффициент использования площади лицевой панели в системах управления электронным технологическим оборудованием составляет в среднем 0,85, что говорит о высокой плотности компоновки панели, насыщенности ее устройствами отображения информации, органами управления и технологическими элементами. Эксплуатационная надежность современных конструкций оборудования в значительной мере определяется оптимальностью конструкций лицевых панелей.

В современных условиях, когда методы художественного конструирования и эргономики прочно заняли свое место в системе проектирования, эта оптимальность может наиболее эффективно обеспечиваться.

Эти задачи могут быть решены наиболее полно лишь в том случае, если художественно-конструкторская и эргономическая проработка лицевых панелей будет вестись от частного к общему — от изучения и анализа элементов лицевых панелей (на основе данных инженерной психофизиологии) через построение компоновочных схем к нахождению общих конструктивных, эргономических и эстетических решений. Рассматривая вопрос конструирования лицевых панелей оборудования, следует рассматривать его как особый ввиду того, что объект конструирования в этом случае представляется не пассивным объектом эргономической отработки и конструирования,

а объектом переработки и передачи информации, который активно влияет на человека-оператора, предъявляя к нему требования как к равноценному звену системы человек - машина.

В результате исследований по инженерной психофизиологии были установлены противоречивые особенности человека-оператора как звена системы регулирования. С одной стороны, человек-оператор обладает огромными резервами восприятия, памяти, мышления и т. п., представляет собой систему, способную к быстрой адаптации и быстрой обработке большого объема информации. С другой стороны, человек представляет собой медленно действующее и недостаточно надежное устройство, работающее в системе регулирования с невысоким к. п. д. Устройство, критичное в отношении окружающей среды – температуры, влажности, механических и акустических воздействий.

В процессе конструирования лицевых панелей необходимо правильно оценить взаимодействие оператора с оборудованием. Деятельность оператора в технологическом процессе складывается из операций приема информации и операций обслуживания системы управления оборудованием, при этом четко обозначается ряд основных этапов действия: получение информации о работе технологического оборудования (на этом этапе осуществляется обнаружение сигналов об отклонении данных технологических параметров, их отбор по степени критичности и последовательности регулирования и декодирование); оценка принятой информации, т. е. сопоставление заданных и текущих параметров состояния системы (на этом этапе оператор производит анализ и обобщение информации, выделяет объекты нарушения); принятие решения о необходимых действиях на основе проведенного анализа; выполнение принятого решения.

Все эти этапы являются характерными этапами одной из самых распространенных разновидностей реакций оператора при работе с лицевой панелью – так называемая простая сенсомоторная реакция. В этом случае оператор выполняет то или иное действие (например, нажимает кнопку и перемещает рычаги, тумблеры и т. д.) в ответ на заранее известный, но внезапно появляющийся сигнал с возможной для него максимальной скоростью. Время регулирования, являющееся (без учета схемных особенностей аппаратуры) временем задержки, складывается при этом из времени латентного периода реакции (время от момента появления сигнала до начала движения) и времени моторного компонента (длительности ответного движения):

$$T_{\text{рег}} \approx t_{\text{задержки}} = t_{\text{лат}} + t_{\text{мот}},$$

где  $T_{\text{рег}}$  – время регулирования;  $t_{\text{задержки}}$  – время задержки;  $t_{\text{лат}}$  – время латентного периода;  $t_{\text{мот}}$  – время моторного компонента.

Относительное качество решения лицевой панели может оцениваться, таким образом, минимальным временем регулирования  $T_{\text{рег}}$ , а следовательно, и минимальными значениями  $t_{\text{лат}}$  и  $t_{\text{мот}}$ . На величину времени латентного периода влияют в основном модальность ощущения, количество, интенсивность и вид информации, направленность информации и т. п. На величину времени моторного компонента влияют характер биомеханических движений оператора, форма органа управления, величина усилия сопротивления органа управления, качество поверхности и цвет органа управления и т. п.

Общая задача в конструировании лицевых панелей заключается в сведении к минимуму элементов лицевой панели и создании их правильной композиции при условии, что эти элементы проработаны с точки зрения эргономики и художественного конструирования. Этим достигаются минимальные значения времени латентного периода и моторного компонента. Методика конструирования лицевых панелей должна предполагать проведение ряда последовательных этапов: анализ характера работы оператора с лицевой панелью; анализ комплектующих изделий с выявлением их художественно-конструкторских и эргономических особенностей; художественно-конструкторское решение элементов лицевой панели; компоновка лицевой панели; художественно-конструкторская отработка панели.

Эти этапы конструирования лицевых панелей являются составной частью общего процесса конструирования оборудования и аппаратуры и проводятся на стадиях эскизного и технического проектирования с момента проработки принципиального художественно-конструкторского решения приборного корпуса.

Анализ комплектующих изделий лицевой панели наиболее важный и ответственный этап, предопределяющий успех всей работы по художественному конструированию панели, с учетом требований эргономики. Для анализа при конструировании и компоновке все составляющие элементы лицевых панелей целесообразно подразделять на четыре основные группы: I – устройства отображения информации; II – устройства управления; III – устройства внешней коммутации; IV – конструктивные элементы.

Устройства коммутации (гнезда, разъемы, вилки и т. п.) и конструктивные элементы (головки крепежных винтов, технологические приборные ручки и т. п.) с эргономической точки зрения являются нежелательными элементами, так как несут оператору побочную информацию и должны по возможности исключаться с лицевой панели оборудования. Идеальным решением лицевой панели является такое решение, когда на панели элементы III и IV групп отсутствуют. Рассмотрим кратко особенности эргономического и художественно-конструкторского решения элементов каждой из групп.

Задача рационального расположения устройств отображения информации, с помощью которых передается информация от технологического оборудования к человеку-оператору, является, очевидно, главной при решении вопросов эргономичности и эксплуатационной надежности конструкции.

Устройства отображения информации должны воспроизводить состояние управляемого объекта (технологического оборудования или аппаратуры) в наиболее простой и наглядной форме, по возможности, исключая кропотливую расшифровку оператором поступающей информации, обеспечивая ее целостное восприятие, оказывая при этом минимальное психофизиологическое воздействие на оператора. Всякое устройство отображения информации необходимо рассматривать одновременно как информационный элемент и как объект эстетического восприятия. Известно, что индикаторы одного типа в зависимости от того, как оформлен их выход на лицевой панели, могут нести оператору различное качество информации. Поэтому они должны прорабатываться не только с точки зрения эргономики, но и с точки зрения эстетического восприятия.

Принято различать три типа устройств отображения информации: приборы качественной индикации, приборы количественной индикации, приборы проверочной индикации.

При снятии показаний с приборов количественной индикации оператор должен получить точное числовое значение. Приборы количественной индикации подразделяются на стрелочные и цифровые. Устройства стрелочной индикации с точки зрения формы шкалы делятся на: панорамные – приборы с расположением измерительного механизма в центре одной из сторон, имеющих прозрачный фланец и угол шкалы более 20 °; профильные – приборы с расположением измерительного механизма за шкалой и осью параллельной ее плоскости; квадрантные – приборы с расположением измеритель-

ного механизма в углу с углом шкалы  $90^\circ$ ; круглошкальные – приборы с центральным расположением измерительного механизма и углом шкалы более  $230^\circ$ . Стрелочные приборы количественной индикации имеют две основные формы корпуса — круглую (или часть круга) и прямоугольную.

Устройства стрелочной индикации можно рассматривать еще по ряду классификационных признаков, например, по положению их на панели (вертикальные и горизонтальные), по соотношению стрелки и шкалы устройства (движущаяся стрелка на неподвижной шкале или неподвижная стрелка на движущейся шкале). При конструировании технологического оборудования эти классификационные признаки отступают на второй план, так как из вертикальных устройств применяются лишь уровни и ротаметры, а примеров применения движущихся шкал в электронном машиностроении нет.

Поскольку к устройствам индикации одновременно предъявляются и требования эргономичности и требования эстетичности, при художественно-конструкторском анализе, а также при компоновке их на лицевых панелях аппаратуры они должны также рассматриваться в двойном аспекте.

При этом возникает некоторое противоречие. Точность считывания, например, стрелочных устройств качественной и количественной индикации во многом зависит от размеров, формы шкалы и четкости ее видимости. Теоретически наилучшим условием считывания является такое, когда вся лицевая часть индикатора является шкалой. Соображения же эстетического восприятия и оптимальной компоновки диктуют выбор минимальных габаритов корпусов устройств индикации, минимальную разнотипность и в то же время максимальную лаконичность и простоту их форм.

Предлагаемые оценочные зависимости помогают выбирать или проводить художественно-конструкторскую доработку элементов количественной индикации с учетом этого противоречия. При этом художественно-конструкторское достоинство реального (или проектируемого) комплектующего прибора индикации оценивается двумя показателями: показателем оптимальности решения корпуса индикатора  $P_\varepsilon$  и показателем простоты формы  $P_\phi$ .

$$P_\varepsilon = S_m / S_n,$$

где  $S_m$  – площадь открытой поверхности шкалы устройства индикации;  $S_n$  – площадь лицевой части корпуса устройства индикации.

Эргономическое решение устройства индикации тем лучше, чем выше показатель оптимальности  $ПЭ$ . Идеальным случаем в решении прибора является достижение  $ПЭ = 1$ , т. е. вся лицевая часть корпуса индикации представляет собой шкалу:

$$ПЭ = \frac{S_m}{S_n} = \frac{S_m}{S_m + S_k} = \frac{S_m}{S_m + (S_n - S_m)},$$

где  $S_k$  – площадь поверхности крышки корпуса.

Более реальным показатель оптимальности выглядит, если учтено психофизиологическое воздействие цвета на оператора, которое может быть оценено величиной контраста  $K$ :

$$K = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1}; П'_3 = \frac{S_m}{S_m + (S_n - S_m)K},$$

где  $\rho_1$  – коэффициент отражения светового тона (циферблата, шкалы);  $\rho_2$  – коэффициент отражения темного тона (корпуса);  $П'_3$  – уточненный коэффициент оптимальности решения корпуса индикатора.

Наилучшим условием для работы оператора является минимальная величина коэффициента  $K$ .

В этом показателе не учтены эргономические особенности собственно шкалы – читабельность штрихов и оцифровка шкалы, величина и форма стрелок, наличие на шкале посторонних изображений и символов и т. п., а также не учтен конструкционный материал устройства индикации.

Подставляя соответствующие величины коэффициентов  $K$ , получаем:

$$П_\phi = (n_1 - p_1) \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} + (n_2 - p_2) \frac{\rho_3 - \rho_2}{\rho_3} + (n_3 - p_3) 0,3.$$

Этот показатель не позволяет оценивать художественно-конструкторское решение формы в комплексе, так как он не учитывает, например, технологию изготовления данной формы, не дает представления об экономической целесообразности выполнения данной формы (мелкосерийный прибор, крупносерийный прибор и т. д.) и ряд других факторов. Но несмотря на указанные недостатки, приве-

денные оценочные показатели могут применяться для предварительной оценки решения комплектующих устройств индикации и определения принципов их художественно-конструкторской проработки.

Учитывая приведенные выше принципы оценки элементов количественной индикации, рассмотрим основные художественно-конструкторские решения устройств этого класса. Стремясь получить высокие показатели эргономичности, при художественном конструировании элементов индикации стараются найти решение, когда элемент индикации имеет минимальную поверхность крышки корпуса индикатора. Лицевые поверхности элементов индикации при художественно-конструкторской проработке решаются как по форме, так и с точки зрения получения наилучшего показателя эргономичности.

Эстетическое восприятие человеком-оператором элементов индикации во многом определяется самой конструкцией и технологией ее изготовления. Важную роль при этом играет конструктивное исполнение смотрового стекла индикатора. Наиболее предпочтительными являются варианты свободы выбора при художественно-конструкторской отработке формы, позволяющие достигать минимальных толщин отборонок.

В настоящее время низкий художественно-конструкторский уровень комплектующих приборов индикации заставляет применять искусственные способы повышения эргономичности путем применения фальшпанелей. Приборы индикации должны убираться за фальшпанель также в тех случаях, когда корпуса приборов загромождают лицевую панель и цвет корпусов приборов индикации не соответствует общей цветовой гамме лицевой панели. При установке элементов индикации за фальшпанелью окна индикаторов обычно оформляются обрамлениями. Обрамления должны иметь простую, строгую форму, лишённую излишних раздражителей, не создающую у оператора дополнительных психических ощущений и не отвлекающую оператора от считывания основной информации.

В последнее время в технологическом оборудовании начинают применяться линейные газоразрядные индикаторы, которые лишены многих недостатков стрелочных индикаторов. Они сочетают в себе свойства устройств качественной и количественной индикации, т. е. позволяют оператору в наглядной форме видеть количественное изменение параметра.

Число газоразрядных индикаторов определяется числом контролируемых параметров. Они могут набираться и в общее табло, представляющее практически электронный гистограммный график технологического процесса.

Следующей большой (и наиболее предпочтительной для применения) группой элементов индикации являются приборы качественной и проверочной индикации. К таким приборам относятся: сигнальные лампы, табло, световые транспаранты, системы цветового и знакового кодирования, мнемосхемы.

Эти элементы должны обеспечивать оператору возможность выбора одного из двух альтернативных исходов — «да» или «нет».

По этим элементам оператор качественно должен оценивать состояние системы в короткое время. Поэтому требования эргономики и художественного конструирования, предъявляемые к этим элементам, несколько другие, чем к элементам количественной индикации. Существенную роль начинает играть композиционный фактор — локальность решения элементов, образность их восприятия, декоративность и т. п. Элементы качественной индикации должны запоминаться оператором, давать ему в короткое время максимум информации в простой форме. Таким образом, количество информации, которую воспринимает оператор от элементов качественной индикации, и надежность ее восприятия прямо пропорциональны внешнему оформлению этих элементов на панели. Если элементы качественной индикации несут информацию, большую, чем необходимо оператору для качественной оценки системы, эта лишняя информация будет мешать ему воспринимать то, что важнее в данном случае, а именно факт самого отклонения в системе. Это условие накладывает определенные ограничения на декоративное решение. С точки зрения особенностей эргономического и художественно-конструкторского решения и компоновки на лицевых панелях аппаратуры все конструкции этих элементов можно подразделить на сигнальные фонари колпачкового типа: круглые и квадратные, табло и транспаранты, системы цветового и знакового кодирования, мнемосхемы.

Эстетическое решение круглых сигнальных фонарей колпачкового типа выражается в основном либо в особой форме самого колпачка и его обрамлений, либо в текстуре и декоративности его поверхности, достигаемой особой технологией его изготовления, либо в конструкции обрамления колпачка. Если стремиться наряду с этим и к высокой эргономичности конструкций, то предпочтительны

конструкции сигнальных фонарей с минимальными обрамлениями. При этом показателем относительной эргономичности для элементов качественной индикации может служить

$$P_3 = S_{\text{окна}} / S_{\text{обр}},$$

где  $S_{\text{окна}}$  – поверхность окна индикатора;  $S_{\text{обр}}$  – поверхность обрамления индикатора. Для достижения лучшего показателя  $P_3$ , необходимо стремиться к его наибольшему значению.

Решение сигнального фонаря с точки зрения технической эстетики не обязательно должно основываться на внесении в конструкцию декоративных элементов (специальных обрамлений» фасок и т. п.), а может быть достигнуто высоким качеством исполнения чисто инженерного решения.

Конструкции квадратных сигнальных фонарей колпачкового типа должны быть также основаны на достижении высокой эргономичности конструкции. Эстетические решения достигаются применением конструкции колпачка с минимальными радиусами округления и минимальными обрамлениями, а также выбором оптимальной площади лицевой поверхности колпачка, с точки зрения условий зрительного восприятия. Эффективным, с точки зрения технической эстетики, при компоновке лицевых панелей является применение таких конструкций квадратных сигнальных фонарей колпачкового типа, которые позволяли бы создавать их различные комбинации для получения световых табло и транспарантов. В этом случае большой гибкостью (в смысле компоновки) и большими эстетическими достоинствами обладают не табло, представляющие конструктивное целое, а табло, состоящие из отдельных сигнальных фонарей (ячеек).

Для обозначения сигналов опасности используются большие «стационарные» табло-транспаранты. С точки зрения технической эстетики, задача при конструировании табло и транспарантов должна заключаться, таким образом, в создании максимальной поверхности открытого окна индикатора при минимальных обрамлениях. При наличии обрамления должно обращать внимание и на высокое эстетическое качество их конструкции и изготовления.

При относительно небольшом количестве элементов лицевых панелей и объема отображаемой информации преимущественное применение может иметь цветовое кодирование, и в этих случаях, оно предпочтительнее кодирования формой. Цветовое кодирование

при конструировании лицевых панелей позволяет решать задачи и обычного зрительного поиска элементов на поле панели, и более сложные задачи. Система цветового кодирования (индикации) не играет в конструировании лицевых панелей самостоятельной роли подобно рассмотренным системам отображения информации. Она применяется всегда в сочетании с двумя вышеуказанными системами и играет хотя и важную, но подсобную роль. При конструировании оборудования и аппаратуры определены стандартные цветовые коды, несущие те или иные смысловые значения. Основное назначение систем цветового кодирования - способствовать более точному и быстрому восприятию элементов стрелочной и знаковой индикации. Именно это определяет их преимущественное применение на мнемосхемах оборудования.

Разработка системы цветового кодирования должна органически входить в комплексное цветовое решение.

В систему средств знаковой индикации (знакового кодирования) входят: буквы, условные обозначения, надписи и цифры на лицевой панели, графические символы. Видимость знака на лицевой панели определяется совокупностью нескольких его характеристик. К числу этих характеристик относятся: угловой размер знака, уровень яркости, контраст между знаком и фоном, форма знака. Инженерная психология, основываясь на данных психофизиологии зрения, располагает определенными рекомендациями относительно оптимальных размеров знаков, их яркости, освещенности и контраста между знаком и фоном. В электронном машиностроении знаковая индикация применяется для нанесения различных пояснительных надписей, выполнения ограничительных линий и других вспомогательных изображений на лицевых панелях. Сложных знаковых систем не применяется. При проектировании технологического оборудования, как правило, не стоят вопросы выбора оптимальных размеров знаков (букв и цифр) в зависимости от расстояния считывания и изменения контраста фона, т. е. условия эксплуатации характеризуются стабильным режимом работы оператора в течение рабочей смены с постоянными (в определенных пределах) расстояниями считывания, значениями освещенности и контрастности. Размеры букв или цифр  $h$ , мм, в зависимости от расстояния до глаз  $\ell$ , м, для важных надписей не менее

$$h = 3,7 \cdot \ell - 0,1 ,$$

а для обычных надписей размеры букв и цифр от  $h/2$  до  $3 \cdot h/2$ .

Ширина  $B$ , мм, штриха буквы (черные на белом)

$$B = 0,3 \cdot \ell + 0,2.$$

Из различных рекомендаций отношений ширины и высоты знаков:  $3/5$ ,  $1/2$ ,  $3/4$ ,  $2/3$  выбираются те стабильные отношения, которые удовлетворяют данному виду оборудования и условиям эксплуатации – обычно  $3/5$ . Светящихся знаковых систем (которые усложняли бы процесс выбора этих отношений) не применяется, за исключением цифровых приборов, для которых эти отношения также определены и стабильны.

При цветовом решении оборудования применяются, как правило, темные изображения букв и цифр на светлых панелях, хотя в отдельных случаях имеет место обратный контраст – это наиболее рационально для малых расстояний считывания, которые имеют место в контрольно-измерительном оборудовании. В целом яркость знака (цифр, надписей) должна быть примерно в 2 раза выше яркости фона.

Надписи на лицевых панелях оборудования выполняются стандартными буквами. Надписи по возможности должны быть краткими (1—2 слова не более чем из 28 знаков), без излишних условных сокращений. В основном надпись должна удовлетворять двум условиям: краткости и понятности.

Пояснительные надписи для обозначения назначения устройств управления и характеристики особенностей устройства оборудования или технологических процессов, проводимых на нем, выполняются чаще всего гравировкой непосредственно на панели с последующим затиранием эмалью, фотохимическими способами или способом фотооксидирования на планках с надписями.

Планки с надписями имеют типоразмерные ряды в зависимости от количества знаков, помещаемых на них. Для надписи в одну строку, при высоте планки  $H = 12$  мм и длине  $L$  от 20 до 80 мм при высоте шрифта  $h = 6$  мм, количество знаков  $N$  в одной строке не должно превышать

$$N = 0,23 \cdot L - 0,67,$$

а при  $h = 8$  мм

$$N = 0,2 \cdot L - 3.$$

Для надписи в две строки, при высоте планки  $H = 12$  мм и длине  $L$  от 40 до 100 мм при высоте шрифта  $h = 4$  мм, количество знаков  $N$  в одной строке не должно превышать

$$N = 0,25 \cdot L + 1,5.$$

Применяются два вида цветового решения планок: фон белый, надписи и цифры черные; фон черный, надписи и цифры белые. Поверхности планок с надписями, должны иметь шероховатость поверхности не хуже  $Ra = 0,63$  мкм. Особый вид планок представляют собой планки для товарных и других знаков, а также планки для обозначения типа оборудования, заводского номера, года выпуска и т. п. Первые ставятся на лицевые панели оборудования или на обрамления каркасов, а вторые — на боковые крышки каркасов оборудования. Детали с рельефными изображениями имеют большую прочность рисунка и лучшие декоративные свойства, чем детали с плоскими изображениями. Планки с надписями играют существенную роль в создании общего стиля оборудования и его графического образа.

Компоновка лицевых панелей при применении планок с надписями сопровождается вынесением на лицевую панель большого объема рабочей информации, команд и пояснительных надписей к устройствам отображения информации, органам управления или их функциональным группам. Кодирование, основанное на использовании формы как символа, является наиболее перспективным и универсальным средством представления информации оператору. Благодаря большому алфавиту различаемых символов, который может быть при этом использован, а также использованию последовательности применения символов и особенностей их взаимного сочетания можно с высокой эффективностью применять графические символы.

Совместное применение цветового и символического способов кодирования информации позволяет, значительно расширить возможности каждого из них. При этом цветовой код можно просто накладывать на существующий символ, увеличивая его информативную емкость без введения дополнительных элементов.

Использование графических символов вместо пояснительных надписей, применяемых для обозначения команд и другой информации на лицевых панелях, позволяет уменьшить время считывания информации оператором и улучшить условия компоновки

панелей и внешний вид оборудования с точки зрения технической эстетики.

Применение графических символов целесообразно на всех видах оборудования, особенно на оборудовании, поставляемом на экспорт, так как путем введения символов, носящих интернациональный характер, упрощается эксплуатация оборудования иностранными операторами.

Часть надписей наиболее понятна оператору, когда она выражена натуралистическими символами, например «вода», «свет», и т. п. «Читабельность» символа можно повысить, учитывая особенности зрительного восприятия знаковой индикации человеком-оператором.

Зрительное восприятие знаковой индикации предполагает несколько этапов: обнаружение, различение и опознание. Проектирование знаковой индикации (в данном случае системы графических символов) должно осуществляться с учетом специфики каждого этапа, а сам символ должен обеспечивать оптимальное протекание процесса зрительного восприятия на каждом этапе.

На стадии обнаружения, помимо всех прочих факторов, решающими являются такие параметры символа, как его угловые размеры, контраст между изображением и фоном, время восприятия символа, причем последнее зависит от первых двух (в определенных пределах). На стадии различения важным фактором является расстояние между отдельными элементами символа, а также ориентация их относительно основных координатных осей. Что касается стадии опознания, то здесь важное значение приобретает не только расстояние между элементами символа, но и размеры и количество его существенных деталей.

Графические символы вписываются в обрамляющий квадрат, который является неотъемлемой частью композиционного решения символа, размер стороны которого  $C$ , мм, от расстояния считывания  $\ell$ , мм,

$$C \approx 36,1 - (18260 / \ell).$$

Толщина обводки символа  $T$ , мм, в зависимости от стороны обрамляющего квадрата  $C$ , мм:

$$T = 0,04 \cdot C.$$

В отраслевом стандарте установлено, что цвет графического символа контрастен цвету панели, на которую он наносится, причем изображение и обрамляющий квадрат должны быть одного цвета (исключение составляют предупреждающие символы, которые наносятся красным цветом).

Важным в обеспечении высокой «читабельности» и запоминаемости символов является принятый в системе принцип проведения отдельных характерных признаков, присущих группам символов, через всю систему.

Идентичность графического изображения символов системы подчеркивается единым размерным построением, едиными толщинами их обводки, единым цветовым решением, а также выбором однотипных шрифтов в символах, где встречаются буквенные и цифровые элементы. Для удобства пользования системой символов целесообразно их классифицировать и выделить среди них символы, относящиеся к органам управления, и символы, относящиеся к устройствам отображения информации, что соответствовало бы характеру деятельности оператора при пользовании символами. Не менее важным вопросом является разработка типовых приемов компоновки символов на панелях: где должны располагаться символы - над органами управления, под ними. Немаловажно и определение правильного соотношения между органами управления и устройствами отображения информации при компоновке символов. На панелях оборудования электронного машиностроения символы располагаются так, чтобы включенное положение органов управления обозначалось пояснительными символами, установленными для соответствующих объектов управления, а выключенное состояние — символом действия «отключено».

При применении в качестве органов управления тумблеров со средним положением символ, обозначающий включенное состояние объекта управления при установке тумблера в среднее положение, располагают с левой стороны по оси тумблера. При применении в качестве органов управления галетных переключателей пояснительные символы наносят внизу, а символы действия—вверху по оси переключателя. При применении в качестве органов управления поворотных ручек (в том числе и ручек с поворотом на 90°) символы наносятся внизу по оси ручки. Символ, характеризующий характер управления («плавно» или «ступенчатое регулирование»), наносится при этом вверху по оси ручки. При применении в качестве органов

управления обычных однопозиционных кнопок символ, обозначающий включенное состояние объекта при нажатой кнопке, наносится сверху по оси кнопки. При применении в качестве органов управления кнопок с подсветкой символ наносится непосредственно на кнопку. При компоновке графических символов на панелях следует стремиться к уменьшению количества символов, применяя одни и те же символы одновременно для органов управления и устройств индикации.

Пояснять графические символы надписями не допускается.

Особую группу элементов качественной индикации составляют мнемосхемы. При значительном повышении сложности оборудования, динамическое состояние технологических процессов которого необходимо отразить на лицевых панелях в пультах управления, мнемосхемы получают все более широкое развитие. Мнемосхемы представляют собой условное графическое изображение управляемого и контролируемого объекта. По виду передачи информации мнемосхемы подразделяются условно на:

1) простые графические изображения. Мнемосхемы такого типа представляют собой графическое изображение технологического процесса. В мнемосхему не встраиваются сигнальные элементы, контрольно-измерительная аппаратура и другие элементы лицевых панелей. Эти мнемосхемы помогают оператору нагляднее представить управляемый объект;

2) мнемосхемы с встроенными приборами индивидуального контроля. Это могут быть (в отдельных случаях) обычные лицевые панели, на которых наиболее важные элементы индикации и управления связаны между собой условными технологическими линиями. Могут быть и более сложные мнемосхемы этого типа, когда на панели даются условные обозначения отдельных узлов, агрегатов (или процессов в целом), логичное соединение которых сопровождается встраиванием соответствующих элементов индикации и управления;

3) мнемосхемы с встроенной аппаратурой контроля вызывного типа. Применять такие мнемосхемы целесообразно, когда управляемый объект имеет большое число контролируемых параметров.

В электронном машиностроении применяются, как правило, мнемосхемы первого и второго вида. Рекомендуются следующие общие принципы построения мнемосхем:

1. Лаконичность. Мнемосхема должна содержать лишь элементы, которые необходимы для обеспечения оператора информацией о состоянии управляемого объекта и выбора способов оптимального воздействия на ход технологического процесса.

2. Обобщение и унификация. Мнемосхему следует освободить от изображений несущественных конструктивных особенностей объекта. Мнемосхемы объектов одного класса должны по возможности унифицироваться.

3. Акцент на элементах контроля и управления. Независимо от истинных размеров узлы агрегатов, наиболее существенные с точки зрения контроля и управления объектом, должны четко выделяться размерами, формой, цветом.

4. Автономность. Мнемосхемы самостоятельно (автономно) управляемых узлов и агрегатов должны быть пространственно обособлены и четко ограничены от мнемосхем других агрегатов.

5. Структурность. Мнемосхемы различных отдельных агрегатов должны иметь четкие, легко запоминающиеся и отличные друг от друга структуры.

6. Пространственное соотнесение элементов контроля и управления. Расположение приборов и индикаторов на мнемосхеме должно быть согласовано с расположением соответствующих им органов управления на пульте.

7. Использование привычных ассоциаций. На мнемосхеме желательно применять не отвлеченные условные знаки, а символы, ассоциирующиеся (по форме, цвету и т. п.) с обозначаемыми предметами и явлениями.

В процессе разработки мнемосхемы должны широко применяться средства художественной композиции. Любое устройство отображения должно рассматриваться не только как информационный элемент, но и как объект эстетического восприятия.

Другой серьезной задачей в художественном конструировании лицевых панелей является конструирование элементов II-группы – устройств управления. Устройства управления должны обеспечивать надежность и удобство управления технологическим оборудованием.

При комплексном подходе к конструированию органов управления, при котором выполняются технические, эстетические и психофизические требования, необходимо учитывать следующее. Органы управления должны быть по конструкции и форме приспособ-

соблены к ответным движениям оператора и иметь тщательно выполненную, технологичную, красивую и гармоничную форму, отвечающую требованиям антропометрии и физиологической целесообразности. Материал органов управления должен быть приятным на ощупь и гигиеничным. Размеры и форма органов управления при этом должны определяться физиологическими характеристиками руки оператора.

Выбор типа и конструкции устройств управления в целом зависит от того, какое функциональное действие с точки зрения эргономики должен выполнять оператор с тем или иным устройством управления.

С этой точки зрения устройства управления целесообразно подразделить на: управляемые одним пальцем (нажимные, передвижные); управляемые двумя и большим числом пальцев (поворотные и рычажные); управляемые кистью, предплечьем и рукой в целом.

По функциональному назначению в конструкции оборудования или аппаратуры устройства управления можно классифицировать на органы включения и выключения, органы ступенчатой регулировки, органы плавной регулировки (настройки).

Наиболее предпочтительно применять устройства первой группы как элементы, характеризующиеся наиболее простым моторным движением оператора и, следовательно, дающие минимальное время моторного компонента. Наименее предпочтительны устройства третьей группы.

К элементам первой группы нажимным и передвижным относятся кнопки, клавиши и ригельные переключатели.

В электронном машиностроении и приборостроении применяются кнопки четырехугольной формы с закругленными углами или с закругленной верхней кромкой.

Площадь кнопок выбирается, исходя из анатомического строения пальцев человека. Рекомендуемые размеры могут быть в пределах 18—30 мм (для миниатюрных кнопок 3—4 мм).

Усилия для нажатия часто используемых кнопок рекомендуется брать в пределах 1 – 6 Н, усилия для нажатия редко используемых и ответственных кнопок 6 – 12 Н. Глубина утапливания кнопок соответственно 3 – 5 и 6 – 12 мм. Чем быстрее и чаще приходится работать оператору с кнопками, тем большие размеры они должны иметь.

Клавишные переключатели применяются в электронном машиностроении относительно редко. Они имеют, как и кнопки, два устойчивых положения. Ширину клавиши выбирают не менее 18—20 мм при длине не менее 20—30 мм. Величина рабочего хода при этом должна быть 5—10 мм. Оптимальный угол наклона клавиши по отношению к лицевой панели, как правило, равен 15 °. Широкое применение могут найти разновидности клавишных переключателей—коромысловые переключатели, обладающие высокой надежностью и удобством в эксплуатации. Они могут применяться как индивидуально, так и набираться в коммутационные группы с общим обрамлением.

Распространены кнопки, представляющие собой отдельные модули, которые можно монтировать на монтажной панели (лицевой панели) индивидуально или группами в специальной монтажной планке. Форма и цвет кнопок могут быть различными. Иногда для удобства эксплуатации и для достижения лучших компоновочных решений панели применяют кнопки и клавиши с подсветом, причем непосредственно на кнопки могут наноситься надписи, графические символы и другие элементы знакового кодирования.

Замена лампочек накаливания в процессе эксплуатации в таких конструкциях производится без демонтажа переключателя: необходимо снять линзу и удалить лампочки.

Ригельные переключатели используются при небольших усилиях переключения и наиболее надежно работают при переключениях на две позиции.

Все вышеперечисленные элементы управления первой группы с точки зрения функционального действия применяются как органы включения и выключения, но имеют относительно небольшое распространение по сравнению с элементами второй группы, несмотря на то что они наиболее просты и удобны в эргономическом отношении - в моторном движении принимает участие минимальное количество пальцев оператора, моторные движения просты и т. п.

Наибольшее распространение среди элементов управления на панелях технологического оборудования и аппаратуры получили элементы второй группы - органы управления двумя и большим количеством пальцев. Это вращательные и рычажные органы управления. Они широко используются как органы включения и выключения, органы ступенчатой и плавной регулировки. Наибольшие диа-

метры или хватные размеры их выбираются в зависимости от требующихся усилий.

По своему объемно-пространственному решению (непосредственно органа управления без учета всей его конструкции) элементы этой группы выполняются в виде ручек и тумблеров различных форм, построенных на основе сочетания различных пространственных фигур (например, цилиндра и прямоугольника, цилиндра и части сферы и т. д.). При этом форма элементов, играющих роль органов включения и выключения, характеризуется наличием указателя положения («ключика»). При формообразовании выключателей и выключателей с указателями положений можно получать интересные декоративные решения за счет применения цветных пластмасс, вставок из других материалов, различной текстуры поверхностей и т. д.

Другую разновидность по форме и, следовательно, по общему эстетическому решению должны иметь элементы этой группы, выполняющие роль органов ступенчатой и плавной регулировки. Можно вывести ориентировочные оптимальные размеры этих органов:  $40 \leq D \leq 70$  мм; максимальные размеры  $D \approx 140$  мм; рекомендуемая высота  $12 \leq h \leq 20$ ; оптимальное усилие 25 Н; максимальное усилие 120 Н. Рекомендуемое число выемок для пальцев – четное (лучше всего 6).

Особой задачей, как с точки зрения эргономики, так и с точки зрения формообразования является конструирование таких элементов второй группы, как ключей и тумблеров. В решении тумблеров и ключей почти отсутствует элемент специальной эстетической проработки – они выполняются способом функционализма. И поэтому задача художественного конструирования этих элементов сводится к нахождению формы рычага и особенно формы его концевой части, оказывающей непосредственное физическое воздействие на пальцы оператора. Допустимое усилие переключения не должно превышать 3—5 Н.

К конструктивным и технологическим элементам в данной работе отнесены головки винтов крепления, приборные ручки лицевых панелей, замки и т. п. и коммутационные элементы — штепсельные разъемы, гнезда, вилки и т. п.

Эти элементы рассматриваются как элементы нежелательные на лицевой панели, так как они несут оператору значительное количество ненужной информации, мешающей быстрому и качественному считыванию полезной информации. Однако, несмотря на то, что

эти элементы снижают эргономическое решение панели и они нежелательны на ней, избавиться от этих элементов практически не представляется возможным. Они выполняют определенные технические функции и безусловно необходимы в конструкции технологического оборудования и аппаратуры.

Это противоречие решается при художественном конструировании лицевых панелей оборудования следующими способами: построением такой функциональной и конструктивной схемы, чтобы надобность в некоторых элементах этих групп исчезла вообще; нахождением таких эстетических решений этих элементов, которые снижали бы их психофизиологическое воздействие на оператора. Наибольший эффект достигается в тех случаях, когда два способа применяются комплексно, т. е. дополняют друг друга.

Выявив в процессе анализа художественно-конструкторские и эргономические особенности элементов лицевой панели и проведя их тщательную художественно-конструкторскую проработку, художник-конструктор приступает к очередному этапу - компоновке и композиционной обработке лицевых панелей.

Существенным при этом является классификация лицевых панелей по назначению. Она может в целом определить подход к компоновке и композиционному решению.

По назначению в системе человек — аппаратура лицевые панели можно классифицировать на информационные панели; панели управления; смешанные (комплексные) панели.

Проводя компоновку лицевой панели, следует учитывать ряд функциональных, эргономических и эстетических требований, таких как надежность и удобство работы оператора с лицевой панелью, правильное композиционное и цветовое решение панели и т. п.

Компоновка элементов управления на передней панели зависит, прежде всего, от функциональной компоновки блока, типа и конструкции шасси. Вопрос компоновки функциональной схемы блока определяет и вопрос компоновки элементов управления. Поэтому художники-конструкторы вместе с разработчиками схем комплексно решают функциональные, эксплуатационные, технологические и эстетические задачи.

Компоновка функциональной схемы определяет расположение и группировку элементов панели. Можно сказать, что количество элементов управления определяется техническим совершенством

схемного решения конструкции, так как многие узлы настройки и регулировки могут быть автоматизированы.

Выполнение всех этих требований наиболее эффективно достигается структурированием лицевой панели, т. е. размещением элементов панели по некоторым структурным (компоновочным) схемам или зонам, определенным функциональной последовательностью восприятия информации оператором. Структурирование значительно сокращает время восприятия информации оператором и, следовательно, общее время регулирования.

Компонуя панель по структурному принципу, необходимо добиваться правильного соотношения элементов индикации и управления. При этом необходимо помнить, что организация сенсорного поля (поля индикаторов) определяет организацию моторного (двигательного) поля.

Дополнительным средством, позволяющим построить общую структуру панели и добиться ее композиционной целостности, является цветовое и графическое решение панели. Контрастными или нюансными по отношению к общей панели цветовыми сочетаниями можно выделять определенные структурные зоны панели (как в сенсорном, так и в моторном поле). В этом случае цвет служит для оператора источником «пояснительной» информации (кодом), позволяющим значительно сокращать время латентного периода реакции оператора. При решении лицевой панели художники-конструкторы пользуются различными композиционными приемами, которые определяются конструкцией аппаратуры, конструкцией элементов панели, их компоновкой, а также свойствами материала панели.

Можно выделить пять принципов структурной компоновки панелей: принцип функциональной компоновки, предусматривающий группировку устройств отображения и органов управления по их функциям; принцип значимости, когда приборы, имеющие важное значение, помещаются там, где имеются наилучшие условия их восприятия; принцип оптимального расположения, в зависимости от особенностей каждого из элементов лицевых панелей; принцип последовательного использования, согласно которому размещение устройств отображения и органов управления должно производиться в соответствии с последовательностью операций; принцип частоты использования, требующий, чтобы наиболее часто используемые элементы помещались в самых удобных для восприятия и манипулирования зонах.

Разумеется, каждый из принципов не является абсолютным; более того, иногда они вступают в противоречие между собой.

Таким образом, компоновка, проводимая с применением вышеперечисленных средств, позволяет в целом повысить надежность работы оператора.

Краткое рассмотрение отдельных вопросов эргономики при конструировании оборудования и аппаратуры и, в частности, при решении лицевых панелей показывает, что процесс проектирования изделий сложный, комплексный процесс, требующий совместных усилий различных специалистов: инженеров, художников-конструкторов, психологов и т. п.

## **18. ЭРГОНОМИЧЕСКАЯ ОТРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ**

Реализация требований эргономики в процессе проектирования технологического оборудования выливается в сложную работу по эргономической отработке конструкций. Сложность эта обуславливается многообразием факторов, влияющих на надежность оператора в системе человек - машина.

Эргономическому проектированию оборудования всегда предшествует всесторонний эргономический анализ, проводящийся на начальных этапах стадии эскизного проектирования или на стадии разработки технического предложения.

Методы эргономического исследования систем оператор – машина, в процессе проектирования оборудования, подразделяются на проектные и экспериментальные.

Проектные методы эргономической отработки конструкций используются на стадии эскизного проектирования при поисках принципиальных компоновочных решений оборудования, при исследовании поисковых и посадочных макетов вариантов конструкций.

Экспериментальные методы применяются в лабораторных эргономических исследованиях и при практической отработке эргономического решения конструкций. Результаты исследований в лабораторных условиях иногда отличаются от результатов исследований в естественной среде, так как имитировать естественные условия не всегда удается.

При эргономическом анализе и отработке конструкций используются следующие проектные методы исследования: составление опросных листов (с целью выяснения претензий эксплуатационников к работе прототипов оборудования), осмотр оборудования (визуальная оценка оборудования на соответствие требованиям эргономики), анкетирование, хронометраж и фотохронометраж с целью составления циклограмм, фотосъемка и составление кинограмм, составление профессиограмм.

Характерные вопросы опросного листа формируются в зависимости от задач, которые ставит перед собой проектант.

Анкетный тестовый опрос представляет собой две группы вопросов. Первая группа вопросов адресована оператору и касается его субъективного отношения к своему рабочему месту. Вторая группа вопросов адресована экспериментатору, дающему оценку позы оператора. Такой опрос можно производить в производственных и лабораторных условиях.

Английскими, голландскими и французскими специалистами разработан специальный «Эргономический контрольный лист», который был утвержден на II Международном конгрессе по эргономике. В этом листе сгруппировано несколько сотен вопросов, касающихся условий труда на рабочем месте, а также условий окружающей среды, облегчающих исследователям выяснение максимально возможного количества факторов физической и психической нагрузки на рабочего в целях устранения источников усталости, непроизводительных затрат труда, а также устранения причин несчастных случаев или профессиональных заболеваний, обусловленных конструктивным или организационным несовершенством рабочего места.

Одной из разновидностей метода составления опросных листов или контрольных эргономических карт является метод модальных оценок. Это такой метод, когда процесс деятельности оператора разбивается на ряд элементов или этапов, каждый из которых качественно оценивается словами «сложно», «менее сложно», «хорошо», или баллами. Однако этот метод дает слишком грубое приближение к количественным характеристикам и часто не отражает истинной взаимосвязи элементов в системе человек – машина.

Хронометраж и фотохронометраж широко применяются при эргономическом анализе. Эти методы применяются на самых ранних этапах эргономической отработки машин. Сущность методов заключается в регистрации времени осуществления тех или иных опера-

ций, представляющих самостоятельные этапы трудового процесса и поисков возможностей сокращения этого времени. Эти методы дают возможность косвенно судить об оптимальности компоновки органов управления и устройств отображения информации.

В последующем эти методы были усовершенствованы и трансформировались в метод построения циклограмм. Циклограммы позволяют установить рациональную последовательность операций и их длительность.

Анализ циклограмм, снятых при работе аналога, позволяет вскрыть нерациональные операции (по длительности их выполнения или последовательности в общей схеме управления) и вынести рекомендации по автоматизации (или другой модернизации) проектируемого оборудования по сравнению с аналогом.

Разновидностью метода циклограмм является метод графического хронометража (хронография). Хронография может применяться для характеристики состояния и изменения двигательной активности человека в процессе труда, сенсорной активности в процессе труда.

Методы фотосъемки и составления кинограмм являются разновидностью рассмотренных выше методов. Они позволяют фиксировать рабочие позы, движения в динамике. Анализируя кинограммы и фотограммы, можно выявить неблагоприятные решения рабочего места с точки зрения биомеханики оператора.

Традиционный метод профиограмм заключается в подробном описании профессиональной деятельности, отражающем ее цели и задачи, условия организации, различные приемы повышения производительности труда, улучшения его качества и т. п. Основной недостаток этого метода заключается в зависимости оценок качества трудовой деятельности от субъективных мнений исследователей и отсутствия четких количественных оценок.

Выделение эргономики в самостоятельное научное направление и внутри нее инженерной психологии с ее специфическими задачами оптимизации преимущественно информационного взаимодействия человека с машиной заставило искать пути превращения профиографии и, прежде всего ее психологической части, в более точный инструмент анализа трудовой деятельности человека.

Данные, полученные при предварительном эргономическом анализе, служат основой эргономической отработки оборудования на последующих этапах проектирования.

После проведения эргономического анализа приступают к непосредственной эргономической отработке конструкции оборудования.

Характерная последовательность эргономической отработки конструкции оборудования и методы, применяемые при этом:

1. Поиск рациональной компоновочной схемы оборудования с учетом антропометрических особенностей человека-оператора. Правильное решение рабочего места удастся найти прежде всего благодаря учету антропометрических особенностей человека-оператора. Этим создаются предпосылки и ко всей последующей эргономической отработке. На этом первом этапе эргономической отработки основным является антропометрический метод, заключающийся в изучении и применении при компоновке рабочего места (его общих габаритов и рабочих зон) антропометрических параметров человека-оператора. Антропометрический метод решается с применением соматографии.

Соматография это схематическое изображение на чертежах тела человека-оператора в ортогональных проекциях. Соматография изучает и анализирует рабочие позы и рабочие движения, а также пропорции человеческого тела прежде всего при помощи конструирования технических образцов фигуры человека на основе общепринятых способов и приемов технического черчения и правил начертательной геометрии в трех основных проекциях с соблюдением анатомических принципов и использования данных антропометрических обследований. Соматография помогает наилучшим образом вписать биомеханические возможности и особенности человека в систему «человек - машина», так как с ее помощью можно решать задачи, касающиеся статики и динамики человеческого корпуса в различных положениях.

В случае проектирования сложных с эргономической точки зрения систем может применяться метод проектографии.

Этот метод заключается в применении для эргономического анализа проекционных изображений человека-оператора на ортогональных чертежах или в перспективах конструкций с фото пленки (или кино пленки).

2. Принципиальный выбор рабочих зон размещения информационных панелей и панелей управления. Работа на этом этапе неразрывно связана с выбором оптимальной рабочей позы и рабочих

зон оператора. Для правильного выбора рабочих зон на этом этапе применяются различные методы.

3. Точное определение оптимальных границ рабочей зоны, необходимое для правильной компоновки устройств отображения и информации и элементов управления. Форма и границы рабочих зон определяются биомеханическими возможностями человека-оператора. Таким образом, на этом этапе основными методами являются антропометрический и биомеханический методы, которые позволяют определить оптимальные рабочие зоны по высоте, фронту по оси симметрии, в плане и т. д. При этом определяются как оптимальные, так и граничные параметры рабочих зон.

4. Оптимальная компоновка элементов управления и устройств отображения информации в пределах рабочей зоны.

Необходимо прежде всего проанализировать соответствие типовых оперативных (поисковых) маршрутов рук человека-оператора известным положениям биомеханики, проанализировать взаимосоответствие сенсорных и моторных зон, определить оптимальный состав устройств отображения информации и элементов управления, провести их анализ с точки зрения эргономики и эстетики и выбрать их типовые конструкции.

Анализ основных оперативных маршрутов предварительно проводится на аналогах в реальных условиях эксплуатации. Составляются маршрутные карты, которые анализируются совместно с циклограммами и хронограммами, полученными на этапе предварительного эргономического анализа. Маршрутные карты позволяют выявить наиболее рациональные рабочие траектории движения оператора и определить оптимальные зоны компоновки лицевых панелей.

Данные циклограмм, хронограмм и маршрутных карт анализируются с позиций известных положений биомеханики при проектировании оборудования. Должны учитываться следующие основные рекомендации:

1. Количество рабочих движений должно быть сокращено до минимума.

2. Количество органов управления и выполняемых с их помощью операций должно быть также сокращено до минимума.

3. Необходимая операция должна по возможности совершаться с помощью одного действия.

4. Органы управления должны размещаться в зависимости от их функциональной значимости. Наиболее важные и часто применяемые органы следует помещать в зоне наилучшей доступности.

5. Порядок расположения органов управления должен соответствовать последовательности их применения в процессе работы.

6. Направление движения органов управления должно соответствовать производимому эффекту (например, перемещение рукоятки вправо должно вызывать смещение соответствующего рабочего органа вправо).

7. Движение по окружности соответствующего радиуса предпочтительнее, чем прямолинейное.

8. Движения должны плавно переходить одно в другое.

9. Если нет возможности избежать движений по ломаной траектории, следует учитывать, что изменение движения руки под прямым углом осуществляется значительно быстрее, чем под тупым.

10. Следует отдавать предпочтение горизонтальным движениям рук, так как они быстрее и точнее вертикальных.

11. Если работа выполняется обеими руками, целесообразно, чтобы движения были симметричными и синхронными во времени (начинались и кончались одновременно).

12. Движение рук по направлению к телу быстрее, чем от тела. Однако последние отличаются более высокой точностью.

13. Движение вперед назад быстрее, чем слева направо.

14. Скорость движения слева направо (для правой руки) несколько дольше, чем в обратном направлении.

15. Вращательные движения совершаются примерно в полтора раза быстрее, чем поступательные.

16. Органы управления должны размещаться таким образом, чтобы рабочему не приходилось скрещивать или менять руки и т. п.

К экспериментальным методам эргономической отработки можно отнести следующие: тонкие лабораторные эксперименты по отработке методик-эталонов (изучение избирательности зрительного восприятия различных сигналов, исследования мышечной напряженности в разных режимах визуальной деятельности, изучение индивидуально-типологических особенностей человека); оценку функционального состояния при осуществлении визуальной деятельности, связанной с восприятием разных видов зрительной информации (изучение визуальной деятельности при восприятии знаково-цифровой информации; исследования, касающиеся оценки функцио-

нального состояния при взаимодействии человека с конкретным изделием, в частности анализ деятельности оператора за пультом, изучение рабочей позы оператора. Целью исследований является разработка рекомендаций по оптимизации условий труда оператора.

Среди экспериментальных методов получает широкое применение электрофизиологическая методика оценки психофизиологического состояния оператора. Электрофизиологическая методика использует электрические процессы, представляющие отображение биоэлектрической активности систем организма, а также являющиеся результатом преобразования изменений неэлектрических величин в электрические с помощью датчиков. Наиболее доступными источниками информации является ряд биоэлектрических процессов, а также такие неэлектрические характеристики оператора, как дыхание, давление крови, температура тела и т. п.

Эргономические исследования получили значительное развитие, однако в настоящее время серьезной проблемой является внедрение экспериментальных методов и полученных с их помощью данных для промышленности. При внедрении эргономических исследований в промышленность серьезное внимание должно быть уделено и социологическому аспекту, так как система «человек – машина», которую исследует эргономика, существует в конкретных социальных и общественных условиях, которые влияют на степень ее оптимальности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии представлен материал, соответствующий учебной программе дисциплины "Основы художественного конструирования технологического оборудования".

Пособие содержит: введение, цели и задачи художественного конструирования, историю развития, этапы художественного конструирования, особенности дизайна в электронном машиностроении, классификацию художественно-конструкторских решений оборудования, требования к оборудованию электронной промышленности, организацию макетных работ в процессе художественного конструирования, компоновку технологического оборудования, способы конструктивно-технологического решения формы, способы отделки формообразующих поверхностей оборудования, особенности конструирования комплектов и линий оборудования, принципы разработки типажа, основные принципы эргономического проектирования машин, эргономическую обработку конструкций и библиографический список используемой литературы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блинов И.Г. Специальное технологическое оборудование для микроэлектроники. [Текст] / И.Г. Блинов, В.И. Иванов, Ю.Я. Мелехи. – М.: МИЭТ, 1968. 152 с.
2. Варламов Р.Г. Художественное конструирование радиоэлектронной аппаратуры. [Текст] / Р.Г. Варламов. - М.: Советское радио, 1967. 243 с.
3. Зефельд В.В. Художественное конструирование операторских пунктов. [Текст] / В.В. Зефельд. – М.: Машиностроение, 1969. 152 с.
4. Ломов В.В. Человек и техника. [Текст] / В.В. Ломов. – М.: Советское радио, 1966. 464 с.
5. Основы методики художественного конструирования. [Текст] – М.: ВНИИЭТ, 1970. 278 с.
6. Сомов Ю.С. Художественное конструирование промышленных изделий. [Текст] / Ю.С. Сомов. – М.: Машиностроение, 1968. 175 с.
7. Федоров М.В. Комплексный критерий качества. [Текст] /М.В. Федоров. – М.: Техническая эстетика, 1967. № 5. С. 2–9.
8. Федоров В.К. Художественное конструирование приборных ручек на лицевых панелях. [Текст] / В.К. Федоров. –М.: Техническая эстетика, 1967. № 12. С. 30–31.
9. Федоров В.К. Основы технической эстетики. [Текст] / В.К. Федоров. – М.: МИЭТ, 1968. 60 с.
10. Федоров В.К. Художественное конструирование технологического оборудования в электронном машиностроении. [Текст] / В.К. Федоров. – М.: Энергия, 1975. 280 с.
11. Данилов Ю.М. Дизайн и художественное конструирование. [Текст]: учеб. пособие.: / Ю.М. Данилов – Воронеж. Изд-во ВГТУ,;, 2005. – 211 с.
12. Эргономика [Текст] /Под ред.В.Ф. Венда. – М.: Мир, 1971. 421 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Значение, цели и задачи художественного конструирования	5
2. История развития художественного конструирования	5
3. Этапы художественного конструирования	10
4. Особенности дизайна в электронном машиностроении	12
5. Классификация художественно-конструкторских решений оборудования электронной промышленности	16
6. Общие требования к оборудованию электронной промышленности	28
7. Методические особенности процесса художественного конструирования	35
8. Организация макетных работ в процессе художественного конструирования	45
9. Художественно-конструкторский анализ оборудования	49
10. Компоновка технологического оборудования	58
11. Композиционное решение оборудования	70
12. Способы конструктивно-технологического решения формы	84
13. Обработка и отделка формообразующих поверхностей оборудования	96
14. Особенности художественного конструирования комплектов и линий оборудования	102
15. Принципы разработки художественно-конструкторского типажа	109
16. Основные принципы эргономического проектирования машин	117
17. Конструирование лицевых панелей	133
18. Эргономическая отработка конструкций	155
Заключение	162
Библиографический список	163

Учебное издание

Данилов Юрий Михайлович

ОСНОВЫ ХУДОЖЕСТВЕННОГО  
КОНСТРУИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ

В авторской редакции

Компьютерная верстка Данилов Ю.М.

Подписано к изданию 25.12.2017.

Объем данных 1,0 Мб.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14