



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Сервис и техническая эксплуатация
автотранспортных средств»

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
**«Теоретические основы
безопасности рабочего места
человека-оператора
технической системы»**

Авторы
Аствауатуров А.Е.,
Басилаиа М.А.,
Попов С.И.

Ростов-на-Дону, 2013



Аннотация

В книге излагается методология инженерных решений безопасности машин и другой сложной техники, дается представление о методах и задачах проектирования и конструирования безопасных технических средства с акцентом на системный подход и вопросы инженерно-эргономического проектирования.

Для инженеров проектировщиков, конструкторов, инженеров экологов и эргономистов, инженеров эксплуатирующих и контролирующих технику, а также для преподавателей, студентов, аспирантов в качестве пособия.

Авторы

А.Е. Аствацатуров,
М.А. Басилаи,
С.И. Попов





Оглавление

| | |
|---|-----------|
| предисловие | 4 |
| Глава 1. Теоретические основы безопасности рабочего места человека – оператора технической системы | 6 |
| 1.1. Проблема «человек – машина»..... | 6 |
| 1.2. Система «человек – машина – среда»..... | 7 |
| 1.3. Структура системы «человек – машина – среда»..... | 12 |
| 1.4. Техническая система, управляемая человеком. | 13 |
| 1.5. Управляемость машины. | 15 |
| 1.6. Методологическая основа инженерной безопасности и экологичности. | 16 |
| Глава 2. Надежность управляемости сложных технических систем..... | 21 |
| 2.1. Эволюция сложных систем «человек-машина». | 23 |
| 2.2. Надежность человека-оператора в сложной технической системе. | 25 |
| 2.3. Зависимость эффективности и безопасности работы СЧМ от уровня нагрузок. | 26 |
| 2.4. Классификация и причины ошибок человека-оператора. | 28 |
| 2.5. Повышение безопасности технических систем путем совершенствования программного обеспечения. | 32 |
| 2.6. Модели надежности программного обеспечения..... | 32 |
| 2.7. Комментарии по проверке модели. | 36 |
| 2.8. Предпосылки к оценке безопасности механических систем. | 38 |
| Глава 3. Инженерно-эргономические принципы проектирования системы «Человек-Машина»..... | 41 |
| 3.1. Инженерно-эргономическое проектирование – принципы и проблемы. | 41 |
| 3.2. Особенности взаимодействия человека и машины.. | 45 |
| Человек-оператор..... | 48 |
| 3.3. Проектирование рабочего места оператора машин | 57 |
| Литература..... | 71 |



ПРЕДИСЛОВИЕ

Новые производственные процессы, сложные технические системы «человек-машина», увеличивая энерговооруженность техносферы, помогая поднимать социально-экономические показатели общества, одновременно несут новые опасные и вредные факторы, масштабы которых подчиняются тем же тенденциям. По официальной статистике ООН опасные и вредные факторы не имеют тенденции к снижению, одновременно растет количество тяжелых производственных травм и профессиональных заболеваний. Международной организацией труда (МОТ) ежегодно берутся на учет более 180 тысяч несчастных случаев с летальным исходом и свыше 115 млн. производственных травм и профзаболеваний, при этом ежегодный экономический ущерб составляет 1% мирового национального продукта. Эти данные, имеющие тенденцию роста, а не снижения, свидетельствуют об особой актуальности проблем безопасности и требуют незамедлительности их решения.

В современных инженерных исследованиях управляемости машин весьма скромное место занимают разработки методов безопасности и надежности работы человека-оператора связанных с регистрацией и учетом энергозатрат организма человека в процессе управления техникой. По вопросам теории надежности существует обширный круг литературных источников включающих в себя и вопросы безопасности технических систем управляемых человеком. Между тем, когда цена надежности и безопасности работы системы не имеет такой наглядной формы как отказ тех или иных систем летающих аппаратов, транспортных систем или ошибок человека оператора с тяжелыми их последствиями, расчет характеристик безопасности превращается в некую банальную процедуру ничем не связанную с конечной целью проектирования сложной технической системы – обеспечению ее безопасности. Вопросам ограничения энергетической нагрузки на организм человека-оператора не уделяется должного внимания и в практике проектирования рабочего места человека-оператора при разработке новых систем управления и информации, при определении рабочей позы оператора, определения средств кондиционирования условий рабочей среды, установления оптимальных границ автоматизации функций управления и т.д.

Для ответа на ряд названных актуальных вопро-



Безопасность жизнедеятельности

сов, необходима, очевидно, разработка методов определения энергозатрат человека-оператора, расчеты надежности механических систем «человек-машина» и надежности человека как звена сложной системы.

В данной работе рассмотрены и объединены в единую систему краткие основы трех направлений содержащих знания необходимые для обеспечения безопасности человека управляющего сложными техническими средствами. В эти знания входят теоретические основы безопасности рабочего места человека в технической системе; надежность управляемости этими системами и инженерно-эргономические принципы создания системы «человек – машина» разумеется, в самой начальной стадии – в стадии проектирования. При этом система «человек-машина» рассматривается в условно упрощенном виде, допускающем решение важных проектно-конструкторских задач обеспечения безопасности. Решение этой проблемы, само по себе требует сложного синтеза характеристик психофизиологии человека-оператора, с одной стороны, и конструкции и практики эксплуатации с другой. Возникающий в этих случаях «барьер профессиональной несовместимости» значительно затрудняет сотрудничество специалистов разных профилей, а аспирантам, исследующим и разрабатывающим методы и средства безопасности человека управляющего сложной техникой, представляет значительные затруднения. Названный выше системный подход рассмотрения основных признаков инженерных методов обеспечения надежности и безопасности человека в СЧМ несомненно будет полезным в творческой работе проектировщиков, конструкторов, особенно молодых специалистов в области создания безопасных, высокоэффективных технических средств. К тексту книги прилагается комплекс общих методик расчета технико-экономической эффективности эргономического обеспечения систем «человек-машина» и алгоритмов оценки экономии за счет повышения качества этих систем.



ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОЧЕГО МЕСТА ЧЕЛОВЕКА – ОПЕРАТОРА ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

1.1. Проблема «человек – машина».

Одна из актуальнейших областей безопасности человека и природы современности – проблема «человек-машина» представляет собой комплекс вопросов изучающих взаимодействие человека с машиной или сложной техникой в единой системе. Основные из них: исследование возможностей «человека-оператора» в системе «человек – машина» (СЧМ), оптимизация распределения функций между человеком и машиной, инженерно–экологические, – эргономические, – психологические исследования СЧМ, анализ энергозатрат «человека–оператора» в СЧМ, исследование управляемости СЧМ и теоретических основ безопасности управляемости сложных технических систем и др.

Изучение возможностей человека в СЧМ предполагает определение рабочих характеристик человека-оператора, представляющих собой математическое описание (модель) его поведения, энергозатрат, границ применимости модели и т.д. В этом случае должны быть исследованы все каналы приема и передачи информации (зрение, слух, речь, осязание, обоняние). Функции человека заключаются в приеме и обработке получаемой информации и передачи команды машине (техническому средству). Рабочие характеристики СЧМ получают экспериментально. Они включают в себя такие характеристики как обучение оператора, повышение не только его знаний, но и навыков управления СЧМ, адаптация к изменениям рабочих ситуаций.

Распределение функций между человеком и машиной рассматривается с позиции участия человека в производственном процессе: либо это системы без его непосредственного участия в выполнении рабочих операций (например, осуществление контроля и профилактики неисправностей), либо с непосредственным участием (например, управление транспортным средством).

Оценка качества и системы безопасности управления СЧМ – это проблема непосредственно связанная с человеком и решать ее надо с учетом специфики человеческих факторов. Поэтому в решении вопросов безопасности управления первостепенную роль должны играть инженерная психология, инженерная эрго-



номика и др. науки, включающие в круг своих вопросов характеристики качеств человека-оператора. Наличие критериев качества СЧМ позволяет оптимизировать распределение функций между человеком и системой управления.

Итак, проблема «человек-машина» объединяет исследования в различных областях знания включая технику, систем общей теорию, философию, управляемость машин, инженерную психологию, – эргономику – экологию, медицину и др.

1.2. Система «человек – машина – среда».

Система – это свойство комплекса технических средств, а не название материального комплекса. Система это комплекс, характеризующий преобразования и связи.

Техническая система представляет собой абстрактное отражение комплекса взаимосвязанных технических средств, обеспечивающих преобразование массы, энергии и информации [10]. В данной работе рассматриваются сложные технические системы, которые соответствуют мегакомплексам, состоящим из машин и человека-оператора (или группы операторов). Система человек и машина представляет собой **антропотехнический комплекс**, в котором важнейшее значение имеет человеческая память. Мозг человека-оператора является хранилищем информации в частности для безопасного управления машиной. Он содержит огромное количество понятий, соответствующих внешним объектам; логические категории как познавательные средства; программы логических действий, множество различных информационных элементов; суждений, воображения и т.п.

Переработка информации и принятие правильного решения занимают важное место в антропометрической системе. Рассматриваемые нами рабочие системы «человек – машина – среда» (СЧМС) являются эргатическими (от греч. рабочий).

Эргатическая система – система, составным элементом которой является человек-оператор или группа таких операторов. Различают **моно- и полиэргатические** системы в зависимости от количества операторов входящих в систему. Эргатическая система **представления**, в которой человек может участвовать на любом уровне. Примером таких систем могут служить ручное управление летающими аппаратами любого уровня, наземный и водный транспорт, диспетчерские службы управления полетом самолетов, движением поездов, вокзалов, аэропортов, заводов и т.д.



В процессах исследования таких систем их функционирование описывают на различных уровнях абстракции, в зависимости от типа составляющих систему элементов и от числа субъективных факторов, связанных со специфическими особенностями тех людей, которые проводят исследование. «Поскольку человек-оператор является неотъемлемым элементом эргатической системы, его характеристики целесообразно описывать (при исследовании системы) на уровне абстракции, принятом для описания всей системы в целом» [22]. При полном или частичном отсутствии необходимых характеристик человека-оператора исследование подобных систем следует проводить иными методами, т.к. вследствие специфики человеческих факторов теоретический подход к исследованию системы крайне затруднителен. Изложенное выше еще раз подтверждает чрезвычайную важность условия недопущения ошибок человеком-оператором в системе управления (СЧМС) и вытекающую отсюда необходимость изучения вопросов обеспечения надежности систем.

Система «человек – машина – среда» представляет собой частный случай любой технической системы организованного воздействия на окружающую среду. Такое воздействие характеризуется конкретной программой решения определенных научно-технических задач. Процесс реализации программы во всех случаях условно может быть представлен в виде последовательно происходящих операций получения системой информации, ее переработки, выработки команд управления и их выполнения.

При традиционных методах проектирования и конструирования СЧМС большую часть задач, связанных с наличием человека в технической системе, можно было решать методом проб и ошибок, основываясь на так называемом здравом смысле. В конечном счете на практике оператору приходилось приспосабливаться к неудобствам конструкции рабочего места и системы управления. Это в свою очередь приводило к преждевременному переутомлению, снижению работоспособности оператора, плохой работе системы и ошибкам управления, а в некоторых случаях и к авариям и травмам. Так возникла необходимость организации рационального процесса учета взаимодействия человека, машины и рабочей среды в процессе проектирования системы. Под системой в общей теории систем понимается комплекс взаимосвязанных между собой элементов, предназначенный для решения единой задачи.

Система «человек – машина – среда», или, проще, «человек – машина», по существу – абстракция, а не физическая конструк-



ция. Система представляет собой концепцию, поскольку связана с преобразованиями (входных сигналов в выходные), которые невозможно наблюдать, а можно увидеть лишь результаты преобразований. Концепция СЧМ должна быть основана на определенных допущениях. Основные из них, принятые в системе «человек – машина», хорошо сформулированы одним из известных американских ученых в области актуальных проблем человеческих факторов Д. Мейстером [14]. Автор допущений исходит из принципа безусловного соответствия требований системы потребностям человека, управляющего этой системой, что несомненно имеет глубокий этический и гуманистический смысл. Основные допущения (по Д. Мейстеру), принятые в системе «человек – машина»:

1. Категория «человек – машина» образует систему (СЧМ), элементы которой – человек, машина и среда – представляют собой подсистемы, организованные определенным образом и подчиняющиеся общим требованиям системы.

2. Элементы СЧМ взаимодействуют между собой, влияя друг на друга и на систему в целом.

3. Будучи искусственным образованием, система целенаправленно (посредством предъявляемых к ней требований) программируется на получение определенных результатов (на основе заранее заданных входных данных):

а) общие требования системы обуславливают работу подсистемы и определяют входные характеристики;

б) работа системы активизируется и направляется необходимостью выполнения этих требований;

в) система функционирует адекватно только в том случае, если эти требования выполняются;

г) невыполнение требований, предъявляемых к системе, приводит к изменениям ее функционирования.

4. Как и другие «живые» системы, СЧМ и ее подсистемы функционируют во времени и пространстве и поэтому зависят от изменений, происходящих в указанных измерениях.

5. Выходные параметры всех подсистем должны обеспечивать получение требуемого результирующего продукта на выходе системы в целом; в противном случае работа подсистем становится неэффективной.

6. В той мере, в какой это допускается структурой ее построения, система осуществляет самонастраивание с целью оптимизации соотношений входных и выходных параметров в соответствии с общесистемными требованиями [24].

Разработка системы включает обычное проектирование



входящих в нее отдельных компонентов, но на этом не заканчивается. Поскольку работа каждого отдельного элемента системы является частично функцией других входящих в систему элементов, а также и функцией общей задачи системы, необходимо выработать метод представления и создания системы как единого целого. Система включает в себя человека, машину и работает как одно целое для выполнения поставленной задачи. Поэтому определение системы можно считать условным и зависящим от цели, для которой она создана.

СЧМ является «живой» системой, поскольку ею управляет человек. Системам такого типа присущи общие характеристики, к наиболее важным из которых специалисты относят следующие: 1) все элементы системы взаимодействуют друг с другом, 2) каждый элемент оказывает влияние на другие элементы и на систему в целом, 3) функционирование системы сопровождается преобразованием энергии и вещества из одного вида в другой [4].

Проектирование системы, должно быть организованным процессом, включающим количественный анализ системы до ее создания, а затем разработку и конструирование системы с последующей оценкой опытного образца.

Не следует путать анализ и оценку системы – это процессы разные. Анализ должен дать представление о структуре и функциях системы: показать компоненты системы, пути и процессы их взаимодействия.

Для того чтобы система отвечала своему назначению и работала эффективно с точки зрения экономичности и охраны здоровья человека, необходимо в самом начале проектирования учитывать факторы человека, его возможности и способности как главного звена системы. Это требование системы «человек – машина» должно быть отправным.

Человек-оператор представляет собой подсистему СЧМ, его поведение должно быть подчинено выполнению общих целей системы. Поэтому для описания системы целесообразно учитывать те данные, в которых характеристики и поведение оператора соотнесены с требованиями системы, например, в виде выходных параметров системы.

Человек-оператор – «человек, принимающий участие в управлении объектами и системами и являющийся составным элементом **эргатической системы**. В системе «человек-машина» человек-оператор может выступать в роли приемника и ретранслятора информации, анализировать информацию и принимать решения, вырабатывать управляющие команды, осу-



шествовать контроль исправности элементов системы, программировать работу системы и ее узлов, а также быть исполнителем той или иной команды» [22]. Человек отличается от автомата многоканальностью восприятия и передачи информации, рациональным использованием избыточной информации, способностью при некотором обучении действовать в системах управления с различными функциональными и структурными схемами. С другой стороны, малая пропускная способность, сравнительно быстрое наступление усталости, такие качества как способность забывать и отвлекаться, большая зависимость от воздействия внешней среды – свойства уступающие автоматическим системам. Положительные и отрицательные свойства перечисленные выше определяют рациональное распределение функций между человеком и автоматом в управляемых системах [22].

Подсистему «оператор» следует проектировать в соответствии с требованиями, предъявляемыми ко всей системе. Для этого необходимо использовать различные способы, например создание оборудования рабочего места и методов управления, учитывающих антропометрические, психофизиологические и другие данные оператора, отбор операторов по признакам их профессиональных и личных качеств. Вместе с тем прогнозирование поведения человека-оператора надо вести методами, совместимыми с описанием действия машины. Это в первую очередь методы моделирования и прогнозирования поведения оператора как подсистемы СЧМ.

Закономерен вопрос: можно ли предсказать поведение человека с достаточной точностью в процессе технического проектирования? Ответ на этот вопрос зависит от того, что конкретно требуется установить. Человек – оператор машины действует целесообразно с физическими возможностями, а также общественными и личными нормами. Конечно, человек может менять поведение в больших пределах и реагировать на различные непредвиденные воздействия. Поэтому методы, используемые для описания действия человека, не охватывают действительного разнообразия его поведения. Выполнить описание и прогнозирование на достаточном уровне помогает моделирование, которое не обязательно должно давать точные и подробные предсказания. Модели полезны уже на том уровне, когда они помогают инженеру-разработчику осмыслить действия оператора и предоставляют возможность выделить существенные факторы или разработать специальный эксперимент, построить модель для решения практической задачи.



1.3. Структура системы «человек – машина – среда».

Системе ЧМС присущ ряд характеристик, из которых наиболее важными как указывалось выше являются следующие: 1) все элементы системы в той или иной степени взаимодействуют между собой; 2) каждый элемент системы оказывает определенное влияние на другие элементы и на систему в целом; 3) функционирование системы заключается в преобразовании энергии из одного вида в другой.

Структурная схема такой системы «человек-машина» среда представлена ниже (Рис. 1.1) в виде контура, состоящего из следующих основных звеньев: машины-исполнителя сигналов управления непосредственно воздействующих на внешнюю среду; регулятора или стабилизатора исполнителя выполняющего функции регулирования (координацию составных частей исполнителя и его стабилизацию на заданных режимах работы); генератора или вычислителя программы сигналов управления.

На основе этого систему можно представить схематически в виде контура управления (рис. 1.1), в котором первое звено составляет человек-оператор, управляющий исполнителем путем формирования программы сигналов управления и регулятором исполнителя, второе звено – машина, воздействующая на внешнюю среду. Таким образом, действия оператора, управляющего машиной, представлены как совокупность функций управления и исполнения.



Рис. 1.1. Схема контура управления.

Если рассматривать СЧМ с позиции развития техники в направлении автоматизации, следующий этап будет выглядеть в виде контура управления, в котором регулятор исполнителя входит в схему исполнителя сигналов управления, а человек лишь формирует программы сигналов управления (рис. 1.2). Оператор машины, получив информацию по каналам обратной связи (КОС) и сопоставив ее с задачей воздействия на внешнюю среду, посы-



дает команды управления на исполнитель сигналов управления через регулятор исполнителя.

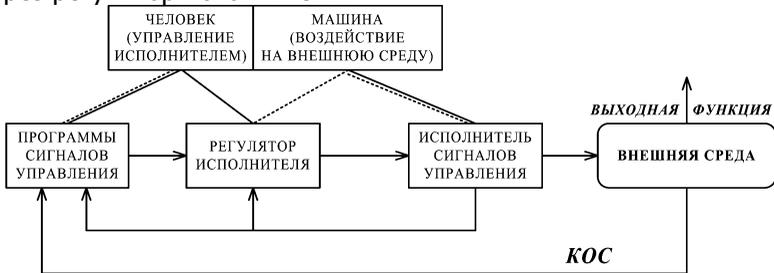


Рис. 1.2. Схема системы «человек – машина».

Графическое представление процесса взаимосвязи отдельных звеньев системы помогает лучше разобраться в работе СЧМС. В принципе структурная схема не имеет дополнительной информации по сравнению с той, которая содержится в уравнениях математической модели.

Следующий шаг, ведущий к количественному исследованию, заключается в построении математических моделей тех блоков, из которых составлены рассмотренные схемы. Обращение к математическим моделям позволяет решить задачи оптимизации совместимости оператора и машины на стыке звеньев СЧМ и повысить качество компоновки и конструирования.

1.4. Техническая система, управляемая человеком.

Рассматривая человека-оператора, как отдельную систему можно заметить сходство с рассмотренной выше структурой системы ЧМС где:

а) функции звена – исполнителя выполняют двигательные органы – руки, ноги, мускулатура всего тела, (человек своими энергетическими возможностями заменяет звено – исполнитель);

б) функции звена – регулятора выполняют мозг человека и его центральная нервная система координирующие действия человека в ответ на сигналы внешних раздражителей: зрения, слуха, осязания, обоняния (человек в пределах своих физиологических возможностей заменяет названное звено);

в) функции звена – генератора сигналов управления выполняют соответствующие области головного мозга (человек программирует заменяя соответствующее техническое звено системы).



Безопасность жизнедеятельности

Общий расход энергии человека-оператора можно представить* в виде суммы энергозатрат организма на функции управления исполнителем $e_{упр.}$ и энергозатрат организма на функции исполнения сигналов управления $e_{исп.}$.

Расход энергии организма человека

$$e = e_{упр.} + e_{исп.},$$

где $e_{упр.} = e_{Г} + e_{с} + e_{си}$ энергозатраты на выполнение функций генератора, стабилизатора и системы исполнителя.

Понятие управляемости машины или любой сложной технической системы связано с *функцией управления*, которая складывается из операций получения информации и ее переработку в другую форму информации – сигналы воздействия на исполнителя. Если принять, что результат управления человеком техническим средством (т.е. работы человека-оператора) «W» пропорционален общей сумме переработанной им за единицу времени информации i , то

$$W = k i, \quad (1.1)$$

где k – коэффициент пропорциональности

При высоких профессиональных качествах управления оператором, когда оператором за единицу времени может быть переработан некий оптимум информации i_0 и получен максимально возможный для организма результат W_0 , то

$$W_0 = k i_0 \quad \text{отсюда } k = W_0 / i_0$$

Тогда выражение (1.1) примет вид

$$W = W_0 \bar{i}$$

где $\bar{i} = i / i_0$ – коэффициент выполнения функции управления, характеризующий качества (профессиональные) действий человека в управлении машиной предельно возможные для его организма.

Для рассмотрения вопросов безопасности управления машин важное значение имеет зависимость названного выше коэффициента выполнения функций управления \bar{i} от энергозатрат организма $e_{упр}$ например, при $n = 1$ т.е. при участии в СЧМ одного человека-оператора.

* Используя метод ученого, заслуженного летчика испытателя Н.В. Адамовича (см. [1])



1.5. Управляемость машины.

Управляемым процессом в реальной технической системе принято считать такой процесс, который может осуществляться различными способами в зависимости от цели управления и критерия оценки качества достижения этой цели [22]. Управляемым объектом (УО) в теории управления называют физическую систему (в широком смысле охватывающую любую материальную систему), в которой осуществляется процесс управления. На рис. 1.3 показана структурная схема управляемого объекта, где величины U_1 и U_n называются управляющими воздействиями (или параметрами) и относятся к «входным переменным», к ним же относятся возмущающие воздействия Z_1 и Z_n . Величины X_1 и X_n называются фазовыми координатами объекта и относятся к «выходным переменным».

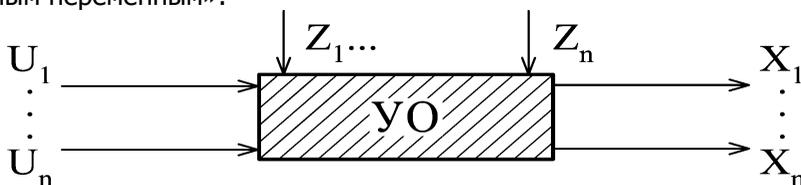


Рис. 1.3. Структурная схема управляемого объекта.

Теория процессов управляемых объектов находит основное применение в конструировании систем управления. Изучение процессов управляемых становится возможным, если имеется математическая модель поведения управляемого объекта (УО). Для обширного класса УО происходящие в этих объектах изменения выражаемые производной вектора состояния dx/dt (скорости), зависит только от его состояния, управления и возмущающих изменений в данной момент времени. Это позволяет описать УО обыкновенным дифференциальным уравнением

$$\frac{dx(t)}{dt} = g(x(t), u(t), z(t)t), \quad x(0) = x_0;$$

решения которого изучаются теорией процесса управляемого [6].

Современные технические системы, к какому бы классу сложности они не относились, от летательных аппаратов отправляемых в Космос с людьми до наземного, водного и подводного транспорта и всех сложных устройств жизнедеятельности техносферы должны оцениваться по их эффективности прежде всего по уровню безопасности. Императив безопасности сложных технических объектов связан с критериями надежной управляемости



машин и любого оборудования. Это ставит необходимость решения актуальной задачи раскрытия понятия управляемости сложных технических средств.

Системы, использующие энергию человека-оператора только на функции управления, сегодня очень распространены. Это машины – исполнители, осуществляющие функции непосредственного воздействия на окружающую среду за счет посторонних источников энергии – различных транспортных средств, агрегатов и сложной техники современного производства. Нет надобности пояснять, насколько важна составляющая безопасности в решении общей задачи оптимизации системы. Задача совершенствования (оптимизации) любой технической системы должна включать не только повышение ее к.п.д., но и критериев безопасности. Из этого следует, что повышение эффективности современной техники должно быть представлено в виде трех частных задач: первая – техническая задача – повышение мощности, энерговооруженности и расширение функциональных возможностей техники; вторая – технико-эргономическая – включения в стадию проектирования и конструирования машин комплекса качеств обеспечивающих выполнение человеком-оператором расчетных функций управления (переработки информации) при минимально возможных энергозатратах на управление; третья – технико-информационная и инженерно-безопасная – придание машине комплекса свойств обеспечивающих: а) выполнение оператором информационных работ (обеспечение поиска, накопления, получения информации и возможности быстрого реагирования) б) придание конструктивной и инженерно-психологической надежности всей технической системы характеризуемой безошибочностью решения стоящих перед СЧМС задач.

1.6. Методологическая основа инженерной безопасности и экологичности.

При проектировании и конструировании технических средств защиты окружающей среды серьезным подспорьем в деле повышения качества и эффективности разработки должны служить основы философии техники.

В настоящее время философы анализируют феномен техники. Хотя существуют различные концепции техники и философии техники, есть необходимость в их методологическом осмыслении как феноменов сегодняшней культуры.



Философские концепции развития инженерной защиты окружающей среды. Философия техники.

Судя по тем противоречиям, которые возникли между техносферой и жизнедеятельностью биосферы, традиционная инженерия требует серьёзной корректировки. Основная проблема заключается в том, чтобы дать правильное решение задачи, отвечающей на вопрос: как использовать силы природы для человеческого общества, обеспечив одновременно безопасное развитие цивилизации, высвобождение человека из-под власти техники, улучшение качества жизни?

Существует ещё одна проблема: как контролировать изменения, происходящие в результате современной инженерной деятельности путём проектирования технических средств и технологических процессов. Трудности заключаются в том, что большинство изменений, природных процессов не поддаются расчётам за пределами локальных зон. Например, выполнить расчёты или контролировать экологические характеристики (выбросы тепла, вредных веществ и отходов, загрязнения грунтовых и подземных вод, почвы и т.д.) регионов, а тем более континентов планеты современными средствами невозможно. В такой ситуации необходимо, с одной стороны, сводить к минимуму отрицательные последствия инженерной деятельности, а с другой – интенсивно развивать уровень современных технологий инженерной защиты окружающей среды. Необходимо отказаться от создания технических средств, последствия воздействия которых на природу невозможно точно прогнозировать, и которые могут вести к экологическим и антропологическим катастрофам.

Современная инженерия и техника предполагает новую картину мира, которая не может строиться на идее свободного, бесконтрольного использования природных ресурсов.

Философия техники как отдельная дисциплина читается в вузах США, Франции, Англии, в России, в частности в Институте философии РАН студентам преподают курс «Философия науки и техники». В области философии техники получены определенные знания и формируются различные понятия, требующие очередного осмысления возникающих проблем и выработки новых путей развития.

В центре внимания исследователей в области философии техники находятся основные методологические проблемы: соотношение науки и техники, естествознания и технических наук, развитие фундаментальных исследований в современных технических науках и, в частности, в инженерной экологии; проблемы



историко-культурного понимания сущности техники, социальной и гуманитарной оценки инженерной деятельности и ее экологических и других последствий. Это направление характеризуется стремлением к оптимистическому осмыслению и разрешению проблем, порожденных развитием новой техники, направленной на защиту окружающей среды с самых рационалистических и гуманистических позиций.

Главная задача философии техники – это исследование технического отношения человека к миру, т.е. технического миропонимания. Философия техники с самого своего возникновения ориентирована на гуманизацию техники.

Методологической основой проектирования и конструирования технических средств защиты окружающей среды является системный подход, закладывающий общий теоретический фундамент под такие, ранее разобценные технические дисциплины, как детали машин, теория машин и механизмов, основы конструирования. Особое место в системном подходе отводится информации. Поток информации сделался фактором, значение которого все еще не понято до конца и не оценено надлежащим образом. Это касается, прежде всего, техносферы, т.е. совокупности технических средств, в настоящее время представляющей собой существенный элемент мира.

Человек, биосфера и техносфера образуют в совокупности экосферу, которая во все большей степени превращается в замкнутый комплекс. Эта замкнутость требует от нас осуществлять поиск философских и технических решений, направленных на возможно более полное замыкание круговорота материи, что, в свою очередь, уменьшает опасное рассеивание отходов и снижает возможность катастрофы нашей цивилизации.

Философский подход к техническому творчеству.

Традиционные методы часто становятся тормозом и задерживают развитие науки технического творчества. Вокруг нас становится все больше инженеров, которые начинают замечать трудности в своей творческой работе именно тогда, когда ограничиваются традиционными методами.

Человек создан для творчества. Этот тезис должен стать основополагающим для проектировщика и конструктора. Творчество требует от специалиста, в частности инженера-эколога, познавательной позиции, которая должна основываться на сознательной открытости потоку информации и всему, что может питать и развивать это творчество. Человек представляет собой важный элемент социально-космического глобального комплекса.



Безопасность жизнедеятельности

Именно в человеке происходит многосложное преобразование информации от ее принятия и накопления, переработки и выдачи в процессе творческой деятельности. И для того, чтобы эффективно связать знания о том, что существует, с тем, что должно быть создано, мышление проектировщика должно быть открытым для потока информации.

Сегодня в потоке быстро происходящих изменений в сфере развития технических средств резко проявляется потребность развития общетехнических дисциплин, среди которых важное место занимает наука технического творчества – проектирование и конструирование эргатических систем.

Наука технического творчества есть рациональная основа проектирования и конструирования. По существу, само техническое творчество состоит из проектирования и конструирования. Понятно, что знание методологии технического творчества представляет собой интерес для разработчиков технических средств.

Методология творческой технической деятельности содержит:

1. Описание творческой деятельности с выделением операций, составляющих проектирование и конструирование.
2. Методы творческой деятельности.

Поскольку наука технического творчества на сегодняшний день находится еще на начальной стадии развития, точность определения существующих понятий различна. Любой метод претерпевает влияние субъективных факторов разработчика. Ведь всякий метод есть единство объективного и субъективного, так как в нем обычно сочетаются объективные закономерности и выработанные на основе профессионального опыта субъективные приемы исследований. Поэтому в техническом творчестве приемы целесообразной организации деятельности специалиста во многом зависят от его личности, знаний и опыта. Однако в 60-е годы начала развиваться новая наука - праксеология, изучающая целесообразность организации любой человеческой деятельности независимо от ее назначения. Польский философ Т. Котарбиньский, родоначальник праксеологии – социологической науки, в известном труде "Трактат о хорошей работе" (1955) говорит, что во все более усложняющемся процессе труда наступает такое явление, которое он называет "минимализацией интервенции", то есть уменьшением физического вмешательства человека в процесс производства.

Знаменательно, что идея рационализации практической деятельности и понятие «Конструктивное действие в процессе тех-



Безопасность жизнедеятельности

нического творчества» нашла поддержку в "Трактате о хорошей работе".



ГЛАВА 2. НАДЕЖНОСТЬ УПРАВЛЯЕМОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К понятию управляемости машины в технике различных отраслей наблюдаются различные подходы. Так в наиболее развитой отрасли летательных машин «одно из наиболее распространенных определений управляемости самолета в авиационной литературе формулируется как его «способность отвечать на усилия, прилагаемые летчиком, и перемещения рычагов управления рулями, соответствующими перемещениям в пространстве» [5] не выдерживает критики, поскольку отождествляет это понятие с эффективностью рулей, что не одно и то же, и связывает его только с действием рулями, что не исчерпывает всех действий летчика и тем более экипажа по управлению самолетом.

Опыт показывает, что отсутствие четкого представления о предмете управляемости влечет за собой нечеткую ориентацию исследовательских работ в области организации рабочего места человека-оператора на машине и как результат – значительное недоиспользование возможностей машин во всех областях техники. В этой связи представляет интерес высказывание по поводу понятия управляемости А.С.Литвинова [13], подробно рассмотревшего множество существующих толкований этого понятия: ... «нельзя проводить исследования тех или иных свойств какой-либо машины, если нет достаточной четкости в определении этих свойств...» С этим замечанием нельзя не согласиться. Тем не менее в машиностроении всего мира происходит именно так: усиленно исследуются вопросы управляемости – этого слишком важного качества в эксплуатации машин, чтобы им можно было бы пренебречь – без четкого, общепринятого определения управляемости. Очевидна связь рассмотренных в работе [17] разногласий в определении понятия управляемости с общей нерешенностью проблемы человек – машина.

Между тем в практике эксплуатации машин разного назначения установилось понятие управляемости как *удобства управления* машиной. Существуют, например, понятия удобства управления автомобилем и самолетом, морским судном и космическим кораблем, подъемным краном, экскаватором, различными станками на производстве, машинами в сельском хозяйстве и т.д. Широкое распространение такого понятия управляемости свидетельствует о значимости свойств машины, определяемых этим понятием, и универсальности этих свойств применительно к машинам



разного назначения.

Это распространенное понятие управляемости можно связать с рассмотренной выше величиной энергозатрат a_y на процесс управления, если предположить, что субъективно ощущаемые нами чувства удобства и комфорта обусловлены вполне объективным фактором – состоянием энергетики организма. В ходе эволюции живых организмов состояние энергетики всегда было одним из определяющих факторов во взаимодействии с внешней средой. Запасом энергии определялась способность к выживанию организма, что дает основание рассматривать чувство удобства как выработанный в процессе естественного отбора внутренний сигнал, стимулирующий сбережение организмом энергетических ресурсов. Эта связь чувства удобства с расходом энергии организма позволяет сформулировать понятие управляемости как *совокупности свойств машины, определяющих энергетическую нагрузку на организм человека-оператора* в процессе управления. Чем меньше эта нагрузка, тем больше управляемость, тем проще и надежнее могут быть выполнены функции управления» [1].

Таким образом, надежность и простота выполнения функций управления во многом зависят от уровня энергетической нагрузки на организм человека-оператора.

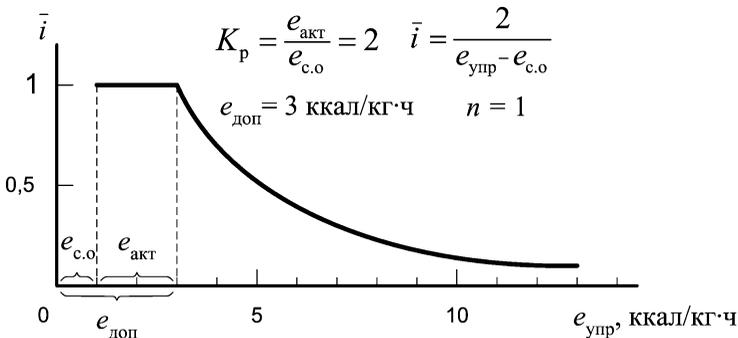


Рис. 2.1. Зависимость коэффициента выполнения функций управления \bar{i} от энергозатрат организма $e_{упр}$.

Если ориентироваться на данные представленные в работе [1], где энергозатраты на самообслуживание организма одного человека составляют $e_{с.о.} = 1,0$ ккал/кг·ч, а его общая располагаемая мощность $e_{доп} = 3,0$ ккал/кг·ч, то зависимость $\bar{i} = f(e_{упр})$ для случая участия в системе одного оператора может быть представлена графически убывающей кривой (рис. 2.1). Где с уменьшением потребной величины $e_{упр}$ запас неиспользуемой мощности ор-



Безопасность жизнедеятельности

ганизма $e_{доп} - e_{упр}$ возрастает, что создает впечатление возрастающего удобства управления – *возрастающей управляемости* машины. Величина $e_{доп} - e_{упр}$ может быть использована для повышения надежности действия человека в системе или (если надежность достаточна) для других работ, например для участия в другой, параллельной действующей системе. Если, наоборот, требуемая для управления машиной энергия организма велика и достигает значения $e_{упр} - e_{доп}$, то энергетика человека используется полностью: разность $e_{акт} = e_{доп} - e_{с.о}$, составляющая резерв активной деятельности организма, без остатка расходуется на выполнение требуемого количества функций управления.

В области $e_{упр} > e_{доп}$, наоборот, энергоемкость выполнения функций управления превышает возможности одного человека. Сниженный из-за недостатка мощности организма объем выполненных функций управления можно предположительно определить из соотношения располагаемых и потребных энергозатрат

$$\bar{i} = \frac{e_{доп} - e_{с.о}}{e_{упр} - e_{с.о}}$$

Обеспечить значение $\bar{i} = 1$ в этом случае можно двумя путями: снизить энергоемкость выполнения функций управления (например, введением автоматизации части этих функций) или увеличить разность $e_{доп} - e_{упр}$ введением дополнительных людей в контур системы.

2.1. Эволюция сложных систем «человек-машина».

В системе человек-машина, как было отмечено ранее, происходят процессы энергетического и информационного взаимодействия человека и технической системы. Иначе говоря рассматривается система организованного воздействия на окружающую среду, стихийно сформировавшаяся в борьбе за существование и в последующем включившаяся в процесс развития цивилизации. При таком подходе система без человека не мыслима, а материально-технической основой цивилизации становится непрерывная эволюция системы. Эволюционный процесс совершенствования системы содержит две составляющие: а) техническую, т.е. расширение функциональных возможностей техники как исполнителя сигналов управления от человека; б) синтетическую-объединяющую данные техники и человека. Эволюция системы



Безопасность жизнедеятельности

«человек-машина» представлена на Рис. 2.2, где показан постепенный (ступенчатый) переход системы от ручного управления к машине автомату.

Рассматривая вопросы преобразования энергии в СЧМ, по аналогии с техническими преобразованиями энергии в качестве величины, характеризующей энергетическую нагрузку на человека можно принять расход энергии по времени «е» (в ккал/ч; кг·м/ч или др. единицах). В таб. 2.1. приводятся взятые из работы [1] некоторые значения «е» отнесенные к массе человека.

Таблица 2.1.

Экспериментальные данные энергетических затрат организма человека

| Состояние организма человека | Расход энергии на 1 кг массы тела в ккал/ч |
|-------------------------------------|---|
| Сон | 1,00 |
| Отдых сидя | 1,37 |
| Стоя вольно | 1,50 |
| Отдых стоя | 1,59 |
| Стоя «смирно» | 1,64 |
| Теоретические занятия | 1,71 |
| Плавание | 7,14 |
| Игра в футбол | 20,0 |
| Бег на состязаниях | 39,0 |



Безопасность жизнедеятельности

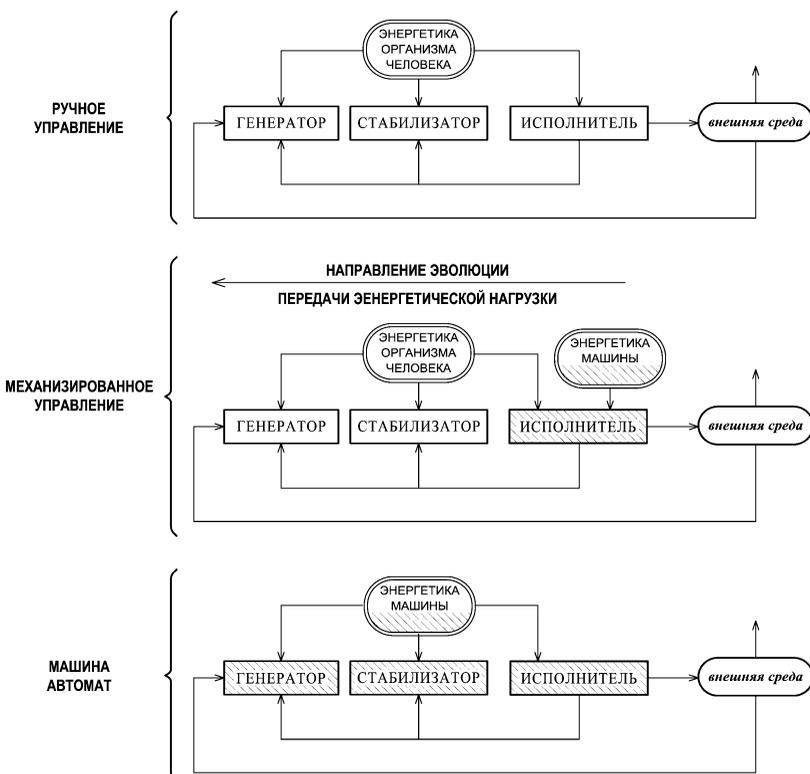


Рис. 2.2. Эволюция системы «человек – машина».

2.2. Надежность человека-оператора в сложной технической системе.

Безопасность сложной технической системы, ее надежность и эффективность в значительной степени зависит от человека являющегося составной частью этой системы. Опыт эксплуатации различных сложных систем позволяет утверждать, что там где работает человека, появляются ошибки. При этом часто опасные аварийные ситуации возникают независимо от уровня квалификации, знаний и опыта. Поэтому прогнозирование надежности технической системы без учета надежности работы человека управляющего техникой не может отражать истинную картину безопасности. Как известно в литературных источниках по надежности внимание уделялось всецело техническому средству и совсем не учитывалось надежность человека управляющего



этой техникой. На недопустимость такого подхода в середине прошлого столетия указывали Уильямс (США), Н. Адомович (СССР), в работах которых исследовался человеческий фактор. Рост несчастных случаев связанных с авариями и катастрофами сложных машин в основном был связан с ошибками человека. Возникла неотложная проблема создания банка данных ошибок человека-оператора, классификации ошибок и анализа причин их возникновения. Одной из первых задач в решении вопросов безопасности становится моделирование надежности человека как звена сложной технической системы.

Надежность работы человека определяется как вероятность успешного выполнения им работы или поставленной производственной задачи на заданном этапе функционирования СЧМ в заданный период времени при определенных требованиях к продолжительности выполнения работы [13].

Ошибка человека определяется [28] как невыполнение поставленной задачи или нарушения правил и стандартов, что может явиться причиной повреждения оборудования, аварии, нарушения установленного технического процесса.

2.3. Зависимость эффективности и безопасности работы СЧМ от уровня нагрузки.

Уровень эффективности и безопасности работы сложной технической системы управляемой человеком зависит от подбора свойств управляемости машины к данным психофизиологии человека. Известен и другой подход, когда психофизиология человека изменяется (приспосабливается) к свойствам машины в рамках условий сохранения здоровья.

Исследование функциональных характеристик и возможностей организма человека как составной части системы «человек-машина» является предметом специальных инженерно-психологических знаний. В нашу задачу входит рассмотрение энергетических возможностей человека в пределах оптимальных рабочих нагрузок системы. Например, вполне реально повысить энерговооруженность системы расширив функциональные возможности звена-человека в СЧМ с помощью медицинского отбора здоровых и хорошо физически подготовленных, а также специально обученных людей. Такой индивидуальный подход сегодня используется при подборе операторов управления самыми сложными системами космических аппаратов и ракет. В этих случаях управляемость машины может подвергаться повышению риска из-



Безопасность жизнедеятельности

за неправильной или не точной оценки возможностей человека в СЧМ. Примером возможных ошибок в оценке управляемости машин при субъективном подходе – по мнению заслуженного летчика-испытателя Н.В. Адамовича [1] «могут служить случаи недооценок квалифицированными летчиками-испытателями трудностей в пилотировании самолета, связанных с его недостаточной устойчивостью, завышенными усилиями на рычагах управления, неудобством оборудования кабины и т.д. Обладая незаурядной техникой пилотирования, они могут не придать значения этим трудностям и не обратить внимания конструкторов на необходимость их устранения. В условиях массовой эксплуатации самолета летчиками средней квалификации эти трудности дают потом о себе знать и могут проявиться в аварийной ситуации» [1].

С развитием техники возможности приспособления машины к человеку возрастают. Однако действующие на человека нагрузки (особенно нагрузки психологические) способствуют возникновению ошибок снижающих надежность системы. Соотношение между качеством работы человека, безопасностью управления и действующими на него нагрузками в общих случаях отображено на рис. 2.3.

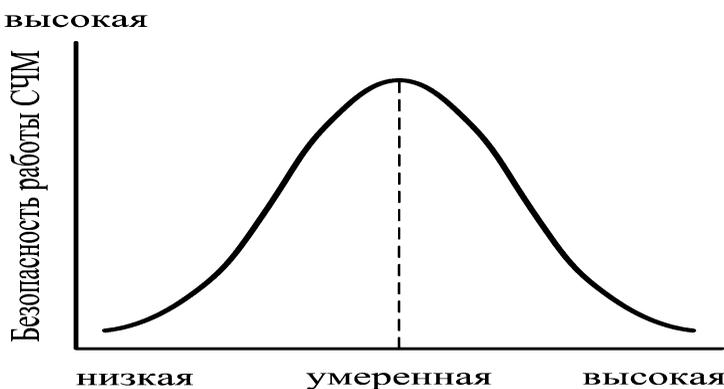


Рис. 2.3. Зависимость безопасности управляемости и нагрузки на человека-оператора.

Гипотетическая зависимость эффективности и безопасности работы человека от действующей нагрузки свидетельствует о том, что зависимость частоты появления ошибок от действующих нагрузок является нелинейной. Экспериментальные данные ряда авторов подтверждают, что качество и надежность работы оператора оказывается оптимальным только при умеренных нагрузках. Как это ни парадоксально, но низкие нагрузки характеризуются частыми ошибками и снижением надежности работы системы. Не-



эффективную работу операторов в таких случаях психологи объясняют отсутствием интереса к выполнению скучных и пассивных заданий. При умеренных нагрузках интерес к работе повышается, внимание к выполняемым операциям обостряется, надежность работы оператора повышается. При дальнейшем увеличении нагрузки возникают психофизиологические напряжения, перегрузки, в результате чего качество работы оператора начинает ухудшаться. Причиной такого ухудшения работы и снижения надежности становятся такие виды физиологического стресса как страх, повышенная утомляемость (переутомление), снижение внимания и т.п. При дальнейшем повышении нагрузок до самого высокого уровня воспринимаемых человеком нагрузок надежность работы человека, а следовательно и безопасность функционирования всей системы достигает минимального (критического) значения.

2.4. Классификация и причины ошибок человека-оператора.

Для правильного прогнозирования надежности и безопасности сложной технической системы управляемой человеком-оператором необходимо располагать анализом причин ошибок совершаемых человеком в названных условиях.

Различают три основных уровня ошибок человека-оператора: 1)ошибки связанные с индивидуальными особенностями оператора и ситуационными факторами зависящими от условий среды и эксплуатации; 2)ошибки человека-оператора; 3)негативные события ввиду внезапных поломок узлов системы, производственных травм и т.п. (Рис. 2.4).

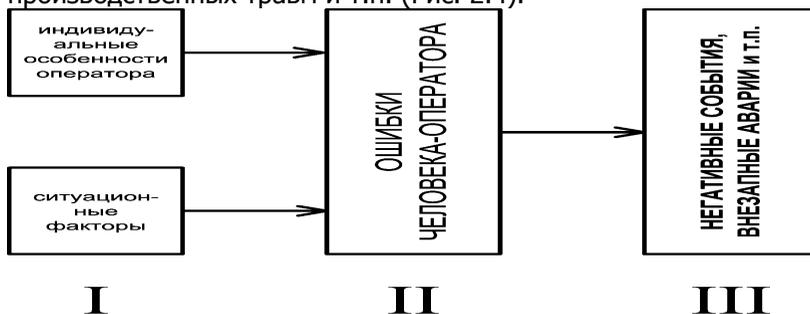


Рис. 2.4. Классификация уровней ошибок.

На уровне I ошибки предотвращаются с помощью профилактических организационно-технических мероприятий. На



уровне II для предупреждения нежелательных явлений корректируют нарушения функционирования системы являющиеся следствием допущенных человеком ошибок. На уровне III возможно исключить повторное возникновение не желательных ситуаций чреватых ошибками человека.

Классификация ошибок по вине человека предлагается авторами работы [25] в следующем изложении:

1. *Ошибки проектирования:* обусловлены неудовлетворительным качеством проектирования. Например, управляющие устройства и индикаторы могут быть расположены настолько далеко друг от друга, что оператор будет испытывать затруднения при одновременном пользовании ими.

2. *Операторские ошибки:* возникают при неправильном выполнении обслуживающим персоналом установленных процедур или в тех случаях, когда правильные процедуры вообще не предусмотрены.

3. *Ошибки изготовления:* имеют место на этапе производства вследствие (а) неудовлетворительно качества работы, например неправильной сварки, (б) неправильного выбора материала, (в) изготовления изделия с отклонениями от конструкторской документации.

4. *Ошибки технического обслуживания:* возникают в процессе эксплуатации и обычно вызваны некачественным ремонтом оборудования или неправильным монтажом.

5. *Внесенные ошибки:* как правило, это ошибки, для которых трудно установить причину их возникновения, т.е. определить, возникли ли они по вине человека или же связаны с оборудованием.

6. *Ошибки контроля:* связаны с ошибочной приемкой как годного элемента или устройства, характеристики которого выходят за пределы допусков, либо с ошибочной отбраковкой годного устройства или элемента с характеристиками в пределах допусков.

7. *Ошибки обращения:* возникают вследствие неудовлетворительного хранения изделий или их транспортировки с отклонениями от рекомендаций изготовителя.

Основные причины ошибок человека-оператора выделяются в следующем порядке [27]:

— неудовлетворительная подготовка или низкая квалификация обслуживающего персонала, когда операторы или специалисты по техническому обслуживанию недостаточно подготовлены к выполнению поставленной задачи;



Безопасность жизнедеятельности

— следование обслуживающего персонала неудовлетворительным процедурам технического обслуживания или эксплуатации;

— плохие условия работы, связанные, например, с плохой доступностью оборудования, теснотой рабочего помещения или чрезмерно высокой температурой;

— неудовлетворительное оснащение необходимой аппаратурой и инструментами;

— недостаточное стимулирование операторов или специалистов по техническому обслуживанию, не позволяющее достигнуть оптимального уровня качества их работы.

Банки данных ошибок человека-оператора по трем категориям.¹

Банки экспериментальных данных: содержат результаты лабораторных экспериментов и заслуживают большого доверия, чем банки данных иного типа, поскольку в меньшей степени подвержены влиянию субъективных оценок, способных приводить к ошибкам. Однако необходимо иметь в виду, что с какой бы тщательностью ни формировались подобные банки данных, в них всегда присутствует значительный элемент субъективности.

Хорошо известным примером банков данных, основанных на экспериментальных результатах, является банк Data Store, описанный в работе [25] и созданный на основе материала 164-х исследований.

Банки эксплуатационных данных: являются более реальными, чем банки экспериментальных данных, однако сформировать такой банк довольно трудно, поскольку для этого требуется тщательная регистрация действий в реальных условиях эксплуатации. Подобные банки данных дают более удовлетворительные результаты, чем лабораторные исследования, поскольку в лабораторных условиях часто ставятся надуманные задачи.

В настоящее время известны два крупных банка экспериментальных данных о параметрах эксплуатации оборудования [23]. Одним из них является Система регистрации и оценок данных о качестве работы (OPREDS), позволяющая автоматически следить за всеми действиями оператора. Однако она приемлема только в некоторых ситуациях (например, в системах коммуникации). Другим примером является Банк данных о частоте ошибок по вине человека, созданный фирмой Sandy (SHERB) [23].

¹ В данном разделе представлен материал опубликованный в работах [13, 25, 27, 28]



Банки субъективных данных: составляются на основе экспертных оценок. Создание таких банков обходится сравнительно дешево и не вызывает особых трудностей, поскольку большой объем информации может быть получен от небольшого числа опрошенных экспертов.

Данные, основанные на субъективных оценках, получают с помощью метода Дельфи [34]. Этот метод позволяет сократить разброс экспертных оценок путем установления обратной связи между конечным результатом исследования и мнением отдельных экспертов, которые пересматривают свои оценки до тех пор, пока не будет достигнута некоторая степень согласия. Этот метод был применен в Центре изучения и подготовки личного состава ВМС США [34].

«Чтобы банки субъективных данных можно было использовать при анализе надежности работы человека, необходимо:

— *обеспечить требуемую точность данных.* Для банков субъективных данных характерны определенные погрешности, поэтому нужно иметь в виду, что точность этих банков всегда меньше, чем точность банков экспериментальных данных;

— *гарантировать представительность экспертных оценок.* Субъективные данные должны поступать только от тех лиц, которые считаются высококвалифицированными специалистами, способными справиться с этой работой, и которые, кроме того, могли бы наблюдать за выполнением подобных заданий другими экспертами. Например, лучше получать данные от операторов, чем от специалистов по инженерной психологии;

— *учитывать конкретный характер работы.* Необходимо очень тщательно выбирать используемый метод оценки с учетом характера оцениваемой работы;

— *правильно установить уровень экспертного оценивания.* Факторы, определяющие качество оцениваемой работы, должны выявляться на начальном этапе оценочной деятельности. Кроме того, необходимо четко определить типы ошибок, характерных для рассматриваемого процесса выполнения задания;

— *четко определить процедуры оценивания.* Для получения субъективных оценок необходимо четко описать применяемую процедуру, например это может быть метод Дельфи или метод парного сравнения.

Основное преимущество банка субъективных данных состоит в широком охвате всех параметров, по которым требуется иметь данные об ошибках» [34].



2.5. Повышение безопасности технических систем путем совершенствования программного обеспечения.

Надежность программного обеспечения систем «человек-машина» приобрела в последние годы особое значение в связи с бурным развитием сложных технических систем и программного обеспечения а также использования электронной техники в качестве средств управления современными ответственными объектами, включающими сложнейшие системы космических кораблей. Отказы систем по причине несвоевременного обнаружения ошибки могут оказаться катастрофическими. В то же время сложность систем возрастает с огромной скоростью, усложняя процесс отладки программ. Общие меры по обеспечению надежности программного обеспечения могут быть представлены в тех категориях:

- составление правильных программ;
- проверка программ с целью исключения ошибок;
- моделирование программного обеспечения с целью прогноза уровня безопасности системы.

2.6. Модели надежности программного обеспечения.

При прогнозировании надежности используемого программного обеспечения применяются различные модели надежности. Показателем надежности программного обеспечения обычно служит вероятность отсутствия программных ошибок в течение определенного периода времени, эксплуатации программ в расчетном режиме. В названных моделях используются информации о числе ошибок, устраненных в процессе разработки программных средств. Ниже приводятся несколько таких моделей предложенных разными авторами, которые в своих исследования пытались использовать большой объем знаний, полученных в области теории надежности технических систем, для решения проблемы реализации надежности программного обеспечения¹.

Модель Шумана [9] основана на следующих допущениях:

¹ В процессе составления выбранных моделей в тексте приводятся ссылки на публикации авторов упомянутых моделей. Достаточно подробно проблема «Надежность программного обеспечения» рассмотрена в кн.: Т. Тейер, М. Липов, Э. Нельсон. Надежность программного обеспечения – М.: 1991.



Безопасность жизнедеятельности

— общее число команд в программе на машинном языке постоянно;

— в начале компоновочных испытаний число ошибок равно некоторой постоянной величине и по мере исправления ошибок их становится меньше. В ход испытаний программы новые ошибки не вносятся;

— ошибки изначально различимы, по суммарному числу исправленных ошибок можно судить об оставшихся;

— интенсивность отказов программы пропорциональна числу остаточных ошибок.

На основе этих допущений получаем [9]

$$e_r(x) = e(0) - e_i(x), \quad (2.1)$$

где x – продолжительность отладки программы, отсчитываемая от момента начала компоновки системы программного обеспечения; $e(0)$ – отношение числа ошибок E_0 , имеющихся в программе в момент $x = 0$, к общему числу команд на машинном языке I , т.е. $e(0) = E_0/I$; $e_i(x)$ – суммарное число ошибок, исправленных к моменту времени t , отнесенное к общему числу команд I ; $e_r(x)$ – число остаточных ошибок в момент времени x , отнесенное к общему числу команд I .

Используя последнее допущение, имеем

$$\lambda_s(t) = K_s e_r(x), \quad (2.2)$$

где t – время работы системы, K_s – коэффициент пропорциональности, $\lambda_s(t)$ – интенсивность отказов в течение интервала времени t .

Определив с помощью формулы (2.2) интенсивность отказов программы (частоту появления ошибок), найдем выражение для вероятности безошибочной работы:

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda_s(t) dx \right] = \exp \left[- \int_0^t K_s e_r(x) dx \right]. \quad (2.3)$$

Поскольку в данной модели частота появления ошибок считается не зависящей от времени t , она принимается постоянной и, следовательно, среднее время безопасной работы программы равно

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_s(t)} = \frac{1}{K_s e_r(x)}, \quad (2.4)$$

Оценивание параметров модели. Подставляя соотношение (2.1) в формулу (2.4), получаем следующее выражение для сред-



него времени безотказной работы:

$$T_0 = \frac{1}{K_s [e(0) - e_s(x)]} = \frac{1}{K_s [E_0 / I - e_c(x)]}. \quad (2.5)$$

Выражение (2.5) содержит два неизвестных параметра – K_s и E_0 , которые можно оценить, используя метод согласования моментов [30]. Рассматривая два периода отладки программы x_1 и x_2 , такие, что $x_1 < x_2$, получаем

$$\frac{T_1}{n_1} = \frac{1}{K_s [e(0) - e_c(x_1)]}, \quad (2.6)$$

$$\frac{T_2}{n_2} = \frac{1}{K_s [e(0) - e_c(x_2)]}, \quad (2.7)$$

где T_1, T_2 – продолжительности работы системы, соответствующие x_1 и x_2 ; n_1, n_2 – число ошибок в программном обеспечении, обнаруженных соответственно в периодах x_1 и x_2 ,

Из соотношений (2.6) и (2.7) следует, что

$$E_0 = \frac{I [\gamma e_c(x_1) - e_c(x_2)]}{\gamma - 1}, \quad (2.8)$$

где $\gamma = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{n_2}{n_1} = \frac{T_{01}}{T_{02}}$, T_{0i} – среднее время безот-

казной работы, соответствующее периоду отладки программы x_i ;

$$T_{0i} = T_i / n_i.$$

Подставляя выражение (2.8) в формулу (2.6), имеем

$$K_s = \frac{n_1}{T_1 [E_0 / I - e_c(x_1)]}. \quad (2.9)$$

Другим методом оценивания параметров E_0 и K является использование оценок максимального правдоподобия [9, 26].

Марковская модель основана на предположении о том, что система проходит через последовательность «исправных» (up) и «неисправных» (down) состояний [34]. Состояние системы называют «исправным», если после начала компоновки и тестирования программы ошибка еще не появилась или если об-



Безопасность жизнедеятельности

наруженная в системе ошибка исправлена, а следующая ошибка еще не появилась. Диаграмма изменения состояний системы приведена на рис. 2.5.

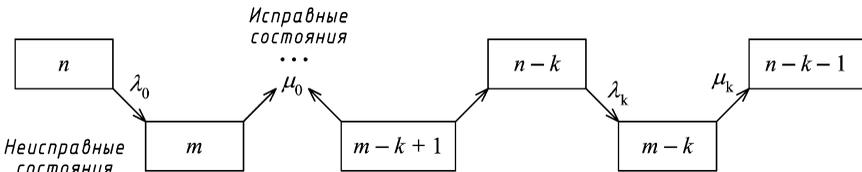


Рис. 2.5. Марковская модель.

Используя известные методы [32], можно вывести дифференциальные уравнения состояний для этой системы:

$$P_{n-k}(t) = -\lambda_k P_{n-k}(t) + \mu_{k-1} N_{m-k+1}(t), \quad (2.10)$$

$$P_{m-k}(t) = -\mu_k P_{m-k}(t) + \lambda_k P_{n-k}(t). \quad (2.11)$$

Начальные условия имеют вид

$$P_{m-k}(0) = 0, \quad k = 1, 2, 3, \dots, \quad (2.12)$$

$$P_n(0) = 1. \quad (2.13)$$

Решение уравнений (2.10) и (2.11) для случая постоянных значений $\lambda_k = \lambda$ и $\mu_k = \mu$ дается в работе [34]. Однако легко убедиться, что подобное ограничение, налагаемое на λ_k и μ_k , не соответствует реальной действительности. Более общее решение можно получить, используя любой из методов численного интегрирования, например метод Эйлера или метод Рунге – Кутты. После того как будут получены вероятности всех состояний, готовность системы определяется с помощью формулы [34]

$$U(t) = \sum_{k=0}^{k_{\max}} P_{m-k}(t). \quad (2.14)$$

Поскольку вероятности зависят от выбранного значения k_{\max} , при достаточно большом значении k_{\max} можно получить значение $U(t)$, близкое к истинному.

Модель Елинского – Моранды [29, 30], как и модель Шумана [31], основана на допущении об экспоненциальном распределении времени безошибочной работы программного обеспечения. Предполагается, что частота появления ошибок пропорциональна числу остаточных ошибок, т.е.

$$\lambda_{JM}(x_i) = K_{JM}[E_0 - (i-1)], \quad (2.15)$$

где K_{JM} – коэффициент пропорциональности; x_i – интервал времени между x -й и $(i-1)$ -й обнаруженными ошибками.

С помощью формулы (2.15) можно найти вероятность безошибочной работы

$$R(t_i) = \exp[-K_{JM}(E_0 - i + 1)t_i] \quad (2.16)$$



и среднее время безошибочной работы

$$T_0 = \int_0^{\infty} R(t_i) dt_i = \left[\frac{-1}{K_{JM} (E_0 - i + 1)} \exp[-K_{JM} (E_0 - i + 1)t_i] \right]_0^{\infty} = \frac{1}{K_{JM} [E_0 - j + 1]} \quad (2.17)$$

Модель Шика – Волвертона [35] основана на допущении о том, что частота появления ошибок пропорциональна числу остаточных ошибок и времени отладки программы, т.е.

$$\lambda_{SW} (t_i) = K_{SW} [E_0 - (i - 1)] x_i, \quad (2.18)$$

где x_i – промежуток времени между $(i - 1)$ -й и i -й ошибками.

Вероятность безошибочной работы равна

$$R(t_i) = \exp \left[- \int_0^{t_i} \lambda_{SW} (x) dx \right] = \exp \frac{-K_{SW} (E_0 - i + 1) t_i^2}{2}. \quad (2.19)$$

Время безошибочной работы определяется по формуле

$$T_0 = \int_0^{\infty} R(t_i) dt = \int_0^{\infty} \exp \left[-K_{SW} (E_0 - i + 1) t_i^2 / 2 \right] dt_i = \left[\frac{\pi}{2K_{SW} (E_0 - i + 1)} \right]^{1/2}. \quad (2.20)$$

Существуют доводы как за, так и против принятия допущения о том, что частота появления ошибок пропорциональна времени отладки программы. Вероятно, единственным способом определить пригодность этой модели является проверка соответствия ее экспериментальным данным [33, 35].

2.7. Комментарии по проверке модели.

Истинную ценность той или иной модели можно измерить по ее прогнозирующей способности. В большинстве случаев обсуждение относительной ценности моделей обычно основывается на интуиции и проверке логической непротиворечивости. Тот факт, что число попыток экспериментально проверить эти модели невелико, объясняется отсутствием необходимых данных об ошибках в программах или противоречивостью имеющихся дан-



ных. Об одной такой попытке сообщалось в работе [34], где проводится сравнительное исследование четырех моделей, описанных в данной главе, и пяти других моделей.

Данные об ошибках, использованные в работе [34], были получены из уведомлений о проблемах программного обеспечения, возникавших при разработке программных средств крупномасштабной системы управления. Эти программы составлены на языке «Джовиал J4» и содержат 249 стандартных подпрограмм общим объемом 115 тыс. строк. Хотя фирмой-изготовителем использовался ряд собственных стандартных средств, как, например, статистический анализатор машины программ, в целом методы, подобные структурному программированию, при разработке этого комплекса программ не применялись.

Экспериментальные данные были упорядочены таким образом, что каждый их элемент соответствовал одной ошибке и далее были исключены элементы, относящиеся к ошибкам, не связанным с программным обеспечением. Затем эти данные сортировались по датам уведомлений с тем, чтобы получить картину последовательных изменений во времени с целью проверки моделей. Данные об использованном машинном времени в этом проекте отсутствовали. В качестве базовой единицы времени отладки программ были приняты сутки.

Из-за отсутствия данных о машинном времени модель Шумана не могла быть проверена, однако было проведено сравнение трех остальных моделей, некоторых их модификаций и еще нескольких моделей, и сделаны следующие выводы [34].

1. Модель Елинского – Моранды и модель Шика – Волвертона устойчиво дают завышенные оценки числа остаточных ошибок, т.е. результаты прогнозирования с помощью этих моделей являются консервативными или пессимистическими.

2. Для небольших программных проектов или коротких периодов отладки модель Елинского – Моранды и модель Шика – Волвертона дают достаточно точный прогноз числа остаточных ошибок.

3. Из всех рассмотренных моделей наилучшие прогнозы остаточных ошибок для крупномасштабных разработок программ или проектов с продолжительным периодом отладки дает модель Шика – Волвертона или видоизмененный вариант модели Елинского – Моранды.



Следует иметь в виду, что хотя это сравнительное исследование позволило получить некоторые полезные результаты, необходимы новые исследования такого рода¹.

2.8. Предпосылки к оценке безопасности механических систем.

Наиболее эффективным способом прогнозирования надежности механических элементов считается оценивание соотношения между прочностью и напряжением. При оценивании безопасности работы механических элементов используются основы теории надежности этих элементов, которые широко представлены в специальной литературе. Отметим лишь виды отказов механического оборудования, которые могут привести к авариям и несчастным случаям с работающими.

Причины отказов механических систем в отличие от элементов электронных аппаратов более многочисленны и разнообразны по своему характеру. К ним относятся отказы механического оборудования от износов, усталости, тепловой нагрузки, ползучести материала, коррозии, эрозии, ударной нагрузки, упругой деформации, радиационного повреждения и т.п.

Отказы механического оборудования происходят если прочность материала, элемента или устройства меньше, чем испытываемое ими напряжение.

Напряжением считают нагрузку, которая стремится вызвать разрушение материала, элемента или устройства. (Под нагрузкой подразумевается механическое воздействие, влияние окружающей среды, температуры, электрического тока и т.д.)

Прочность – это способность материала, элемента или устройства удовлетворительно выполнять функцию объекта без разрушения при воздействии внешних разрушающих факторов среды [34].

Изменчивость прочности обусловлена технологией производства или изменениями размеров, может быть описана некоторым распределением. При малом разбросе значений прочности надежность выше, чем в случае распределения с таким же средним значением, но с большей дисперсией.

Зависимость надежности от соотношения между распределением напряжений и прочности показан на рис. 2.6.

¹ Комментарии по проверке моделей приводятся из исследования этих моделей авторами [34].



Безопасность жизнедеятельности

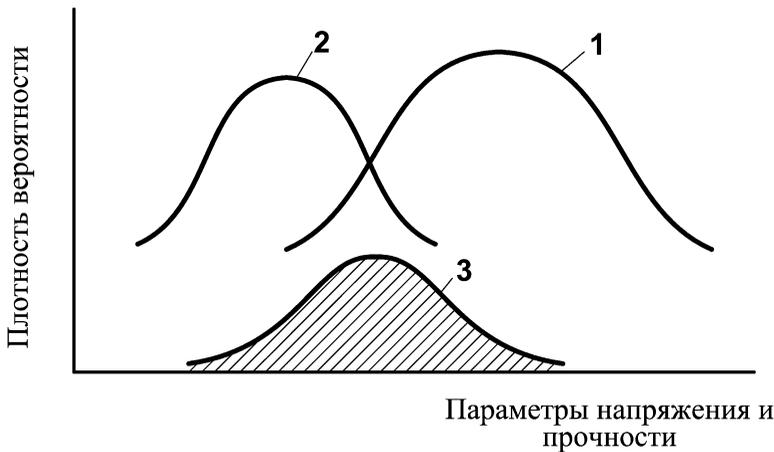


Рис. 2.6. Зависимость надежности от соотношения между распределениями напряжений и прочности.

- 1. – распределение напряжений;
- 2. – распределение прочности;
- 3. – область надежности работы.

Распределение напряжений и прочности могут изменяться с течением времени [34].

Требования безопасности к проектированию механических устройств предусматривают выбор определенного запаса прочности. В работах [34] обращается внимание на то, что проектирование механических элементов и учет одного лишь запаса прочности может привести к ошибочным решениям и к аварийной ситуации вследствие выбора недостаточного запаса. При выборе конструктором коэффициентов безопасности важно использовать данные опыта, приобретенного в работе с подобными объектами [34].

Коэффициент безопасности. Существует несколько способов определения коэффициента безопасности. Согласно [34] коэффициент безопасности (s_f) есть отношение среднего значения прочности, определяющей появление отказа (M_s) к среднему значению напряжения, вызывающего отказ (M_{ss}), т.е.

$$s_f = \frac{M_s}{M_{ss}} \geq 1 \quad [34]$$

Запас прочности

$$s_m = s_f - 1 \quad \text{или} \quad s_m = \frac{M_s - M_{\max}}{\delta_s};$$



Безопасность жизнедеятельности

где M_s – средняя прочность, M_{\max} – максимальное напряжение, δ_s – среднее квадратичное отклонение прочности и $M_{\max} = M_{ss} + k\delta_{ss}$; (здесь M_{ss} – среднее напряжение, δ_{ss} – среднее квадратичное отклонение напряжения; обычно значение $k = 3 \div 6$.¹)

Пример: Пусть $\delta_{ss} = 200$ кПа, $k = 4$, $\delta_s = 900$ кПа, $M_s = 25000$ кПа и $M_{ss} = 12000$ кПа. Необходимо определить имеющийся запас прочности.

Подставляя заданные значения в выражение s_m получаем

$$s_m = \frac{25000 - 12000 + 200}{900} = \frac{25000 - 11800}{900} = 13,6$$

Модели надежности построенные на основе соотношения между распределениями напряжений и прочности можно рассматривать как перспективный подход к решению задач обеспечения надежности механических изделий.

¹ этот показатель, как и коэффициент безопасности, является случайной величиной и отражает идею о необходимости разделения средних значений напряжения и прочности [34]



ГЛАВА 3. ИНЖЕНЕРНО-ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА»

3.1. Инженерно-эргономическое проектирование – принципы и проблемы.

Под *инженерно-эргономическим проектированием* (ИЭП) понимается комплекс инженерных проектных работ, которые определяются основными характеристиками техники, дополнительными показателями эргономики и окружающей среды. Эффективность оценивается здесь не только с технико-экономической но и с социальной точки зрения с учетом мер, направленных сохранение здоровья и всестороннее развитие человека-оператора.

Для того, чтобы машины, созданные с использованием методов инженерной эргономики, были не только совершенны и экономичны, но и удобны в эксплуатации, гармоничны и привлекательны по внешнему виду, необходимо тесное сотрудничество конструкторов, инженеров-эргономистов и художников-конструкторов. Художник-конструктор помогает конструктору системы создавать машину, сообщать ей определенное содержание, делать ее полезной, удобной, красивой.

Художественное конструирование – особая область творчества со своими профессиональными приемами и методами работы. Эта часть знаний связана с методикой художественного конструирования и, естественно, приобретает с помощью специальной методической литературы [20], а также в процессе разработки техники, в ходе накопления практического опыта.

ИЭП должно проводиться на основе системного подхода, учитывающего весь комплекс инженерных, социальных и экономических факторов, ведущих к достижению с СЧМ заданной целевой функции. При таком проектировании решаются инженерные задачи в едином функциональном комплексе системы, составляется нормативно-руководящая документация, выбираются методы и правила оценки СЧМ, а также разрабатывается и применяется комплекс устройств и моделей для проверки показателей конструктивной надежности, безопасности и эргономичности по заданным критериям.

При ИЭП следует использовать рекомендации, которые по существу представляют синтез основ конструирования и практики



эксплуатации машины с данными психофизиологии и других наук о человеке. Эта работа должна охватывать весь цикл создания и применения машины.

На стадии разработки технических предложений, прежде всего, необходимо определить ожидаемые условия эксплуатации СЧМ с учетом противодействующих факторов, затем дать характеристику энергетических и материальных ресурсов, выделив возможности комплекса оборудования рабочего места по обеспечению безопасных условий и нормальной работоспособности оператора.

При разработке **технического задания (ТЗ)** должен быть выделен раздел «Эргономические требования», в котором необходимо привести перечень эргономических показателей как для внутреннего устройства кабины, так и для всей машины в целом, установить критерии эргономичности, например, обзорности, физической нагрузки, ремонтпригодности, контролеспособности, средств взаимодействия оператора с машиной, средств информации и т.д.

На стадии **эскизного проектирования** следует разработать примерные компоновки рабочих мест, выбрать органы управления и средства отображения информации, пульта управления и контроля, оценить условия труда оператора, составить антропометрическую схему для оператора проектируемой машины. В этот же период необходимо провести предварительную экспертизу по вопросам охраны труда и окружающей среды с участием экспертов и представителей соответствующих государственных инспекций; по выбранному варианту разработать рекомендации для следующего этапа проектирования машины.

На основе выбранных вариантов осуществляют дальнейшее развитие инженерно-эргономических качеств машины на стадии технического проектирования. При этом, частности, уточняют перечень показателей эргономичности, обеспечивают информационную модель и потоки информации в контуре, рассчитывают психофизиологическую нагрузку по уточненным циклограммам, разрабатывают поведенческие модели (обоснование передаточных функций оператора), оценивают уровень автоматизации, определяют перечень технических средств обучения операторов. На созданных имитационных моделях и экспериментальных образцах проверяют основные эргономические показатели.

На опытных образцах в лабораторных условиях определяют объективные показатели по нормативам, а при натуральных испытаниях оценивают основные показатели эргономичности в реальной



производственной обстановке, в частности, уточняют физическую нагрузку и психофизическую напряженность, измеряют величины параметров внешней среды.

Развитие эргономики позволяет уже сегодня полностью отказаться от интуитивного, сугубо эмпирического проектирования рабочего места на самоходных машинах. Вместе с тем темпы внедрения результатов эргономических исследований в инженерную практику, например, сельскохозяйственного машиностроения ниже, чем в других отраслях народного хозяйства. Для полноценного использования эргономики в проектировании машин необходимо разрешить ряд проблем, связанных со спецификой этой техники.

Конструктор не располагает достаточной информацией о факторах, определяющих взаимное влияние человека, машины и среды. Это вынуждает его обращаться к старым традиционным (отнюдь не лучшим) способам решения на основе так называемого здравого смысла. Приведем некоторые из проблем, требующие решения на новом, современном уровне.

Среди системных свойств, определяющих уровень эффективности работы СЧМ, важное место занимает совместимость оператора, машины и среды или взаимное соответствие сопряженных между собой звеньев системы, составляющее общую функциональную гармонию, дающую на «выходе» СЧМС наилучшие из возможных режимов.

В практике проектирования машин инженерно-эргономическая совместимость оператора и машины реализуется на уровне чисто эмпирического, а порой интуитивного подхода и поэтому всецело зависит от опыта и квалификации конструктора. В этом аспекте заслуживает внимания опыт включения совместимости в круг задач оптимизации СЧМС. Свойство совместимости понимается в этом случае как «наличие» у составных частей системы потенциальной возможности функционировать совместно и достигать при этом заданной цели. Совместимость в определенных границах можно регулировать, и тогда она выступает как отличный инструмент для управления свойствами, качеством и эффективностью СЧМС.

Какие же виды совместимости преобладают в СЧМС и как их определяют специалисты? Основные виды совместимости информационная, энергетическая, биотехническая, пространственно-антропометрическая и технико-эстетическая совместимости [3, 16]. Однако не все они достаточно изучены. Рассмотрим для примера некоторые из них.



Соответствие оператора, машины и среды окружения по информационным показателям изучено недостаточно, поэтому меры по ограничению информационной нагрузки на оператора научно не обоснованы. В частности, при разработке индикации органов управления и контроля и при определении наиболее выгодного варианта расположения пультов индикации возможности операторов машин учитываются не достаточно.

Энергетическое соответствие звеньев СЧМС при проектировании машин всех видов не имеет теоретической основы. Как известно, при проектировании рабочего места оператора следует учитывать, что человек снижает свои функциональные возможности с ростом энергетической нагрузки на его организм (это сверх такого важного фактора, как сохранение здоровья и работоспособности оператора). Несомненно, существует энергетический предел нагружения человека-оператора функциями управления. Повышение такого предела повлечет за собой невыполнение функций, снижение качества работы, производительности труда; повысится степень опасности повреждения здоровья человека и конструкции машины. Вместе с тем методы регистрации и оценки энергозатрат организма оператора машины и влияние их на работу системы разработаны недостаточно. Отсутствие соответствующих эргономических требований и ограничений приводит конструктора к произвольной недооценке совместимости оператора, машины и среды. Приведенные примеры отражают общее положение со всеми видами совместимости в СЧМ и подтверждают необходимость дальнейшего изучения и научного обоснования их характеристик.

Что же нужно для решения вопросов проектирования рабочих мест и всей системы «человек – машина» на новом научно-техническом уровне?

Конструктор должен располагать (кроме ГОСТов и нормативов) достаточным спектром данных, параметров, определяющих сбалансированное совмещение возможностей человека, современной машины и среды окружения. Эти сведения должны быть строго научно обоснованными. Получить их можно только путем тщательных исследований СЧМС с обязательным участием инженеров, специалистов в области эргономики, инженерной психологии и физиологии труда, математиков.

Анализ данных об эргономичности и условиях труда операторов машин определил следующие основные направления научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ по оптимизации СЧМС:



— разработка кабин, отвечающих требованиям эргономики по энергозатратам человека-оператора (соответствие системы управления машиной функциональным и энергетическим возможностям человека), по микроклимату (температура, влажность, давление, скорость движения воздуха), по размерам, по обзорности, герметичности и защите от солнечной радиации, по вентиляции и очистке воздуха от пыли и загазованности, по освещенности, шуму, вибрации;

— разработка новых систем управления с улучшенными эргономическими характеристиками, исключающими психо-нервное перенапряжение оператора;

— создание шумовиброзащитного комплекса, включающего шумозащитные средства и виброзащитные кресла операторов, отвечающие требованиям по уровню низкочастотных колебаний;

— решение задач совместимости.

Перед инженерной эргономикой стоит задача осуществить поиск математических мер совместимостей, формализовать и просчитать информационную модель, обосновать поведенческие модели, рассчитать психофизиологическую нагрузку, оценить уровень автоматизации эргатической системы, провести детализацию и изучение других эргономических вопросов в зависимости от конкретных особенностей проектируемой СЧМС.

Роль и место эргономики в проектировании машин меняется по мере внедрения в процесс проектирования инженерно-эргономических и инженерно-психологических методов.

Обоснование функции человека и машины в СЧМ должно исходить из количественной оценки выполнения задач каждым звеном системы. Критерии таких оценок еще недостаточно разработаны, но это не может быть причиной отхода от проектирования человеко-машинной системы. Задача состоит в том, чтобы с начала проектирования машин разработчик создавал не только технические средства, приспособляемые к оператору, а проектировал систему (например, СЧМ).

3.2. Особенности взаимодействия человека и машины

3.2.1. Человек как звено системы.

Человек-оператор является неотъемлемой частью работы всех систем. Он решает, где и как использовать самоходную ма-



шину, вводить входную информацию в машину, и сам выполняет операции, основанные на информации, получаемой от машины в процессе работы. Максимальная производительность машин может быть реализована только тогда, когда человек правильно эксплуатирует и хорошо обслуживает их. Поэтому для того, чтобы система (СЧМ) работала эффективно (как с экономической, так и социальной точки зрения), в самом начале проектирования необходимо учитывать возможности и способности человека как основного звена системы «человек – машина». Рассмотрим взаимодействие человека и машины на примере работы оператора – комбайнера самоходной уборочной сельскохозяйственной машины.

Оператор, руководствуясь информацией (сигналы, подаваемые индикаторами в кабине, визуальное наблюдение за участком уборки и территории фронта работ), управляет машиной, воздействуя на органы управления. Одновременно человек реагирует на значительный комплекс внешних факторов. К ним относятся шум, создаваемый при работе двигателя и механизмов машины, вибрация и толчки на рабочем месте, сигналы обратной связи, поступающие к мышцам оператора от рулевого управления, рычагов и педалей, звуковые сигналы систем контроля и управления, сигнализирующие об отклонении от нормального режима работы механизмов, температурные колебания, состояние воздушной среды и др. Исходя из информации, получаемой от поступающих сигналов, оператор принимает решения и воздействует на органы управления. Машина, исполняя сигналы управления, изменяет позиции, рабочие параметры и подает оператору машины новую информацию.

Взаимодействие человека и машины в рассмотренном случае характеризуется непрерывностью и представляет собой систему с замкнутым контуром, в которой информация о сигнале на выходе подается обратно к начальному звену системы. Система с разомкнутым контуром не располагает обратной связью, и в ней взаимодействие между человеком и машиной носит прерывистый характер.

Рассмотрим процесс, в котором оператор корректирует работу машины, непрерывно пытаясь устранить разницу между потребным и реальным выходными сигналами системы, иными словами, обратимся к процессу ручного слежения. Условимся, что вход – это информация, воспринимаемая оператором, выход – действия оператора.

При ручном слежении корректирующие действия оператора



близки к задачам, которые решает сервомеханизм. К устройствам такого рода относят исполнительные механизмы, которые перемещают регулирующий орган в соответствии с выходным сигналом регулятора. Здесь определенный параметр выхода оценивается и используется как вход другого устройства, которое действует как корректор, устраняющий (или сводящий до минимума) внешние возмущения. Устройство системы управления парораспределением паровых машин, в том числе железнодорожных локомотивов первого поколения, - это один из первых сервомеханизмов, примененных в машиностроении в начале XX в. Другими примерами более поздних устройств с обратной связью, у которых выход строго подчиняется заданному входному сигналу, могут служить системы водоснабжения, управляемые электрогидронасосами, или системы отопления, регулируемые термостатами. Можно сказать, что сервомеханизмы относятся к устройствам, которые хорошо управляются по известным законам при относительно небольшом числе степеней свободы.

Оператора самоходной машины можно рассматривать как органическое звено системы, исполняющее функции восприятия, переработки информации и управления (рис. 3.1). При этом условно выведены за пределы машины индикатор и органы управления машины, представляющие собой как бы узел «стыковки» оператора и машины.

Оператор, находящийся между индикатором (панельным устройством) и органом управления, воспринимает непрерывно изменяющуюся информацию Y_n и, воздействуя на органы управления Y_o , управляет работой машины. Входные импульсы отображаются машиной на индикаторе, информацию считывает оператор, который предпринимает определенные действия по управлению машиной. Выходной сигнал органов управления Y_c преобразуется машиной в выходной сигнал машины Y_m или всей системы $Y_{счм}$. Таким образом, для оптимизации системы еще в стадии проектирования необходимо учитывать все возможности и ограничения человека, управляющего машиной.

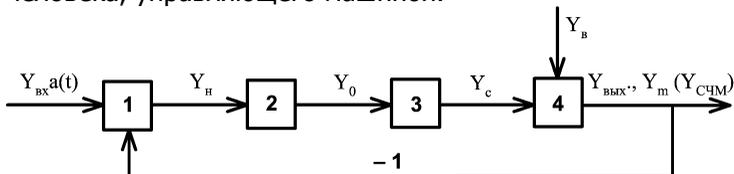


Рис. 3.1. Схема взаимодействия оператора и машины:

1 – индикатор; 2 – человек-оператор; 3 – органы управления; 4 – машина; $Y_{вх}$ – входной сигнал; Y_n – непрерывно изме-



няющаяся информация; Y_o – воздействие на органы управления; Y_c – выходной сигнал органов управления; $Y_{\text{вых}}$, Y_m ($Y_{\text{СЧМ}}$) – выходной сигнал машины; (-1) – отрицательная обратная связь.

Знание возможностей оператора позволит при проектировании системы правильно распределить функции между человеком и машиной. В этой связи полезно сделать сравнение звеньев СЧМ.

3.2.2. Сравнение звеньев системы «человек – машина».

В процессе проектирования рабочего места конструктору приходится решать вопрос: какая часть задания в работе системы должна быть поручена человеку. Здесь необходимо принимать во внимание различие возможностей человека и машины, обладающих своими преимуществами и недостатками. Это позволит улучшить сбалансированное взаимодействие человека и машины, повысить управляемость машины [2], надежность и безопасность работ и, в конечном счете, поднять эффективность всей системы.

Для облегчения принятия достаточно обоснованного решения конструктору рекомендуется в каждом конкретном случае применять простой метод сопоставления преимущественным показателем каждого звена системы «человека – машина» (табл. 3.1.).

Таблица 3.1.

Сопоставление возможностей человека и машины в система «человек – сельскохозяйственная машина».

| <i>Человек-оператор</i> | <i>Самоходная уборочная СХМ</i> |
|---|--|
| Обнаружение неисправностей в двигателе, механизмах и узлах машины и обеспечение технической готовности к работе | Безопасность техники, средства оповещения и защиты от внезапного повреждения организма или вредных воздействий среды |
| Реакция на широкий диапазон сигналов с низким энергетическим уровнем | Защита узлов и механизмов от повреждений, обусловленных изменениями параметров внешней среды |



| | |
|--|--|
| Плавное снижение своих показателей в экстремально неблагоприятных условиях, перегрузках (в отличие от внезапных помех в машине) и продолжительность действия в сложной ситуации | Работа в условиях опасных, вредных или совершенно не приемлемых для организма человека |
| Способность воспринимать информацию о ситуации уборки урожая и работе машины по индикаторам и системам управления внутри кабины | Передача больших усилий при относительно точном и постепенном их приложении |
| Реакция на изменение параметров внешней среды в кабине и вне ее. Способность принимать решение при внезапном, непредвиденном изменении ситуации в чрезвычайно широком диапазоне | Выполнение широкого круга разнообразных действий (например, операций от начала уборки зерновых до выгрузки зерна из бункера машины в кузов транспортного средства и выброса копны) |
| Нахождение решений, выводящих из аварийных ситуаций и повреждений машины | Выполнение многочисленных операций (однообразны, монотонных, точных) в течение длительного времени |
| Хранение информации и использование ее в соответствующей ситуации | Отсутствие реакции на некоторые неблагоприятные факторы окружающей среды |

3.2.3. Надежность системы «человек – машина».

В процессе проектирования, решая задачу правильного использования возможностей человека и разделения функций человека и машины, следует уделить внимание высокой надежности работы оператора и тем самым обеспечить надежность всей системы, т. е. главная задача здесь состоит в максимальном уменьшении вероятности ошибок человека-оператора [4]. Надежность оператора характеризуется показателями безошибочности, готовности, восстанавливаемости и своевременности принятия решений. Для часто повторяющихся операций в качестве показателя безошибочности иногда используют интенсивность ошибок, вычисляя ее в расчете на одну операцию по статистическим данным (по Б. А. Смирнову) [21] следующим образом:



Безопасность жизнедеятельности

$$P_j = \frac{N_j - n_j}{N_j}; \quad (3.1)$$

$$\lambda_j = \frac{n_j}{N_j T_j}, \quad (3.2)$$

где P_j – вероятность безошибочного выполнения операции j -го типа; N_j, n_j – общее число выполняемых операций j -го вида и допущенное при этом число ошибок; λ_j – интенсивность ошибок j -го вида; T_j – среднее время выполнения операции j -го вида.

Вероятность безошибочного выполнения операций зависит от уровня работоспособности, и формулу (3.1) считают справедливой лишь для периода устойчивой работоспособности оператора, которая отличается значительным подъемом производительности труда после выработки в начале смены (рис. 3.2).

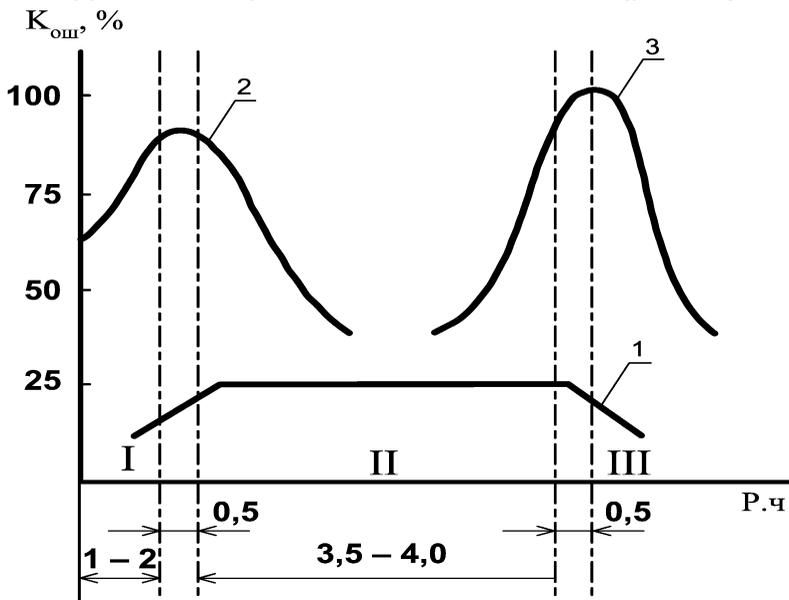


Рис. 3.2. Динамика надежности оператора в течение рабочей смены: 1 – кривая надежности; 2, 3 – кривые ошибок; I, II, III – фазы работоспособности.

Динамика работоспособности характеризуется тремя основными фазами: I – вырабатывающей работоспособностью, II – устойчивая работоспособность и III – спад в связи с естественным утомлением.

Незначительный спад наблюдается также прибли-



Безопасность жизнедеятельности

тельно за 0,5 ч до обеденного перерыва, который в основном не связан с изменением работоспособности и поэтому на графике не учтен.

Тенденция распределения количества ошибок $K_{\text{ош}}$ в течение смены отражена кривыми 2, 3, наложение которых на график динамики работоспособности оператора "Р" показало, что большая часть ошибок в течение смены, а также негативных явлений, вытекающих из ошибок, например производственных травм, приходится на период, характеризующийся низкой работоспособностью (см. рис. 3.2). Период же устойчивой работоспособности (фаза II) отмечается наименьшим числом ошибок, допускаемых работающим в течение данной смены.

Ошибка человека определяется как неправильное выполнение трудовой операции, ведущее к нарушению стандартов технологии и безопасности труда, она может привести к браку в работе, аварии, повреждению оборудования, производственной травме.

При эксплуатации машин, какой бы ни была степень их автоматизации, требуется участие человека-оператора, который не гарантирован от ошибок, независимо от уровня профессиональной подготовки и опыта. Поэтому изучение и прогнозирование надежности СЧМ без учета надежности работы человека не может дать правильных результатов.

Проектировщики пока еще не располагают количественными данными о надежности человека. Для решения чрезвычайно трудной задачи повышения безошибочности действий оператора желательно рассмотреть: 1) основные функциональные, антропометрические и энергетические возможности человека-оператора; 2) характеристики человека-оператора, связанные с видами его деятельности и влиянием нежелательных факторов окружающей среды.

В первом случае надо учесть, что основные функциональные и антропометрические данные человека установлены довольно точно [7]. Значительную трудность составляет определение энергетики организма оператора, возможности которой не изучены, хотя этот показатель, очевидно, имеет прямую связь с надежностью работы СЧМ.

Предпринимавшиеся попытки разработать условные модели энергетики организма весьма полезны в развитии науки о СЧМ, но они имеют предположительную форму и основываются на параметрах систем, включающих летательные аппараты и машины. Поэтому эти данные не могут быть в полной мере использованы



Безопасность жизнедеятельности

при разработке самоходных машин, так как не позволяют составить достаточного представления о влиянии энергетической нагрузки на надежность действий человека-оператора машины.

Безошибочность действий оператора имеет прямую связь с производительностью системы, поэтому проблема изучения энергетики организма оператора машины и ее влияния на функциональное состояние человека при проектировании машин будущего поколения чрезвычайно актуальна.

В результате энергетических перегрузок, обусловленных комплексом дополнительных энергозатрат, появляются ошибки, которые можно рассматривать как отказ звена человека, снижающий производительность системы. Поэтому при выборе содержания рабочего задания следует учитывать весь комплекс нагрузок, возлагаемых на оператора.

Снижение энергетической нагрузки на организм человека в значительной мере может быть достигнуто передачей части функций управления и контроля от человека машине. Эти вопросы взаимосвязаны с компоновкой оборудования в кабине, с выбором эффективного варианта расположения средств «стыковки» машины с оператором.

Второе направление решения задачи повышения надежности оператора связано с рассмотрением зависимостей между характеристиками человека и определенными факторами, понижающими безошибочность его действий. В этом случае целесообразно классифицировать виды деятельности операторов по конкретным типам машин. Например, у водителя трактора будут иметь место реакции: на различные дискретные сигналы, поступающие к рабочему месту оператора; на различные простые сигналы подаваемые последовательно; на сигналы, связанные с согласованием действий с другим оператором.

Для оператора самоходного зерноуборочного комбайна, кроме указанных выше, характерны:

- реакция на последовательные сигналы различного значения, связанные с оценкой обстановки и принятием решения;
- реакции комплексного характера, требующие согласованности с другим оператором (например, с водителем транспортной автомашины при выгрузке зерна из бункера).

При выборе содержания рабочих функций с целью увеличения скорости реакции человека и безошибочности его действий следует учитывать отрицательные факторы внешней среды: шум двигателя и движущихся частей механизмов; вибрацию и толчки в кабине; солнечную радиацию; ненормальные температурные



условия; повышенную запыленность и загазованность; физические и психические перегрузки; недостаточную обзорность с рабочего места (вынужденное напряжение рабочей позы); недостаточную совместимость оператора, машины и среды.

3.2.4. Анализ проектируемой системы.

В эргономике еще нет установившихся концептуальных схем анализа системы, поэтому проектировщикам приходится использовать методы и схемы анализа смежных наук, трансформируя их в соответствии с конструкторскими задачами, которые ставит практика создания новых самоходных машин. Перед учеными этой отрасли стоят сложные задачи, среди которых важное место занимает ориентировка исследований на опережающий поиск и прогнозирование путей, методов решения конструкторских задач оптимизации СЧМ [12]. Пусть конструкции будущих самоходных машин самого разнообразного назначения будут рассматриваться пока еще в гипотетической форме научного прогноза, специалистам так или иначе предстоит решать задачи создания самоходных машин, работающих в самых неожиданных условиях окружающей среды, вплоть до параметров ранее неведомых гравитаций, метеословий и т. д. В любом случае проектирование СЧМ должно включать рациональный анализ системы.

Информация о каждом из звеньев создаваемой СЧМ может быть получена с помощью анализа системы, позволяющего описать все звенья и их рабочие характеристики, составить представление о структуре, функциях и процессах в СЧМ.

Анализ системы позволит осуществить планирование разработки, включить в поле видения конструктора основные проблемы машиностроения, упущение которых может принести непоправимый вред системе; выявить узлы и конструкции, препятствующие повышению эффективности СЧМ; решить задачи совместимости и разделения функций между человеком и машиной; сопоставить с другими системами и выбрать критерии для оценки эффективности проектируемой системы.

Взяв при проектировании машины за исходный тезис «Машины проектируются для человека труда», рассмотрим методы анализа проектируемых систем, уделив должное внимание факторам, определяющим удобства оператора машины. Однако следует предостеречь от ошибочной трактовки положения о создании комфорта для человека-оператора, ибо это понятие в СЧМ несколько отличается от общепринятого понятия комфорта в быту.



Если анализировать деятельность человека в отрыве от управляемой им техники и представлять цель инженерной эргономики и ее исследований как максимальное улучшение комфортных условий для его деятельности вне связи с эффективностью всей системы на выходе (т.е. с производительностью СЧМ в целом) то, видимо, такая крайность может стать серьезным препятствием в оптимизации СЧМ. Оператора машины мы должны рассматривать не только как потребителя машины, но и как производителя материальных благ, решающего конкретную задачу. Поэтому при изучении методов анализа проектируемой системы должно быть особое внимание уделено человеку как звену СЧМ.

Первым шагом анализа является построение полной системы, в которую войдут характеристики условий работы машины и оператора.

Общие требования к системе включают задачу системы и конструктивную компоновку самоходной машины; наивыгоднейшую модификацию; условия эксплуатации и характер участков работы; критические параметры системы, ограничивающие ее габариты, вес, мобильность; возможности использования СЧМ в зависимости от ситуации.

Средства управления, контроля и кондиционирования среды на рабочем месте должны удовлетворять основным требованиям, определяющим эффективность работы СЧМ и, в частности, оператора.

Для удобства проведения анализа при наличии большого объема данных рекомендуется всю информацию сосредоточить в специальной книге, закодировав каждый из параметров условными знаками (цифрами или буквенными), и нанести эти знаки на схему для быстрого отыскивания.

Анализируя комплекс оборудования рабочего места, прежде всего необходимо составить функциональную схему рабочего места машины (рис. 3.3), на которой должны быть представлены средства всего комплекса оборудования рабочего места оператора, характерные и для других современных рабочих машин, где оператору приходится управлять не только движением машины, но и рабочими органами и осуществлять контроль за ходом технологического процесса и внешней средой.

3.2.5. Классификация параметров комплекса оборудования рабочего места (КОРМ) и критерии качества.

Задача синтеза в начальной стадии проектирования заключается в поиске и выборе системы, удовлетворяющей исходным



параметрам и высокому качеству создаваемого изделия. Для решения этой задачи конструктору необходимо выделить из всей совокупности данных такие параметры и характеристики, которые позволят путем варьирования повысить эффективность (качество) системы.

Совокупность данных, определяющих качество системы, можно представить в виде сгруппированных параметров: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 \dots \mathcal{E}_n$ – эксплуатационные условия, определяющие назначение самоходной машины (в том числе КОРМ) и воздействия внешней среды; $O_k = O_{k1} \dots O_{kn}$ – ограничения в выборе компоновки систем и комплексов с учетом габаритов, стандарта и других нормативных требований; $K = K_1, \dots, K_n$ – показатели качества в виде заданных характеристик: обзорность (поле зрения оператора), микроклимат (температура, влажность, скорость движения воздуха), кратность обмена и чистота нагнетаемого воздуха, уровни шума и вибрации, усилия, необходимые для приведения в действие ручных и ножных органов управления, расположение органов управления и средств индикации и др.; $O_n, O_{n1}, \dots, O_{nn}$ – ограничения на показатели качества по производству, существующим технологическим процессам, уровню технических и экономических возможностей современного машиностроения.

Оптимальным из всех возможных конструктивных решений будет то, которое удовлетворяет условиям \mathcal{E} , O_k , O_n и наилучшей – та система, которая характеризуется самым высоким общим показателем качества K . Критерий оптимальности K должен быть определен предварительно из условия эргономической и экономической предпочтительности по сравнению с другими вариантами решений. Отсюда следует, что задача конструктора заключается в отыскании такой системы, которая будет удовлетворять исходным параметрам \mathcal{E} , O_k , O_n при оптимальном значении K , соответствующем установленным стандартам для каждого из факторов, входящих в этот показатель.

Формирование комплексного показателя качества (частный синтез) можно рассмотреть на примере определения K для системы, создающей в кабине оператора оптимальный микроклимат. Для этого образуем скалярное выражение для K , состоящее из суммы показателей качества:

$$K = a_v V + a_t t + a_\phi \phi + a_p p + a_w W + \dots + a_T T,$$

где V , t , ϕ , v , p , W , T – объем кабины, температура, влажность и скорость движения воздуха, давление, мощность, потребляемая кондиционером или вентиляционно-отопительной систе-



Безопасность жизнедеятельности

мой, срок разработки; все эти величины (кроме T) нормированы и могут быть определены из O_k и O_n ; $a_v \dots a_T$ – коэффициенты значимости, определяемые методом экспертных оценок

$$0 \leq d_i \leq 1.$$

Варьируя величиной K с учетом ограничений O_k и O_n для разных систем $C(i), \dots, C(n)$, получим массив рассмотренных решений:

$$C_1 K :_1 = a_v V_{(1)} + a_t t_{(1)} + \dots + a_T T_{(1)};$$

$$C_n K :_n = a_v V_{(n)} + a_t t_{(n)} + \dots + a_T T_{(n)}.$$

Оптимальной следует считать систему (или устройство), у которой из всех $K_{(1)}, \dots, K_{(n)}$ комплексный показатель K_1 будет ближе к нормированной величине (или заданному уровню значений параметров).

Заметим, что научно-технический уровень развития машиностроения (равно как и других отраслей техники, включая и уровень достижений проектно-конструкторских работ) определяется относительным показателем качества, представляющим собой отношение материальных показателей (масса, объем, стоимость и т.д.) к функциональным, вытекающим из назначения проектируемого объекта и характеризующим его свойства (возможности).

Инженерный синтез, основанный на комбинации математических и эвристических данных, включает стадии: синтез, структуры, системы, устройства; выбор наилучшего решения системы по критерию качества K . Синтез систем, комплексов оборудования и устройств рабочего места должен быть начат на самой ранней стадии проектно-конструкторских работ при рассмотрении технического задания и далее продолжаться на всех остальных стадиях работы во избежание принятия решений, несовместимых с новейшими представлениями о надежности, безопасности и комфорте рабочего места оператора. К выполнению проектно-конструкторских разработок рабочего места, при которых для принятия правильного решения требуется учитывать взаимодействие целого спектра разнообразным факторов, необходим системный подход. Общие правила системного подхода к проектированию сложных объектов уровня КОРМ, которые должны учитываться при проектировании самоходных машин, сводятся к следующему.

1. Система рассматривается как единое целое, учитывающее взаимодействие между всеми ее элементами и между системой ее окружением.

2. Порядок создания комплексов рабочих мест основан на принципе проектирования систем, включающих обоснование ис-



ходных данных для следующего «низшего» устройства, выборе характеристик для этого устройства и т.д. «вниз» по схеме. Оптимизация системы, выполненная на том или ином уровне, непосредственно влияет на качество следующего (рангом ниже) уровня. Такая взаимосвязь характерна для всех систем, входящих в многоуровневую структуру частных систем комплекса оборудования рабочего места (КОРМ).

3. Оптимальный инженерный синтез является сквозным процессом, представляющим собой ряд последовательно чередующихся работ на всех стадиях проектно-конструкторских разработок.

3.3. Проектирование рабочего места оператора машин

3.3.1. Рабочее место оператора.

Рабочее место оператора самоходных машин – это постоянное, индивидуальное (передвижное) место работы специалиста, оснащенное органами управления и контроля, средствами отображения информации, оборудованием, обеспечивающим оптимальную среду удобства и безопасности труда.

Рабочее место современных сложных машин характеризуется наличием комплекса технических средств, управляющих не только самой машиной, но и средствами взаимодействия человека с машиной, средствами нормализации среды на рабочем месте. Некоторые авторы [1] квалифицируют их как вспомогательные средства воздействия, однако если рассматривать СЧМ как систему, в которой человек есть главное звено, то эти средства не могут быть отнесены к разряду вспомогательных, а должны входить как неотъемлемая часть системы, без которой управление невозможно, так как оно становится угрозой здоровью и работоспособности человека, а следовательно, фактором, нарушающим нормальное протекание трудовой деятельности человека.

Новые машины не могут рассматриваться изолированно, без научной оценки и учета степени вредного влияния многообразного спектра факторов окружающей среды на здоровье и работоспособность человека. Вместе с тем практика отработки проектов рабочих мест не часто предоставляет возможность обеспечить оптимальные условия оператора, поэтому при системном подходе рекомендации должны побуждать конструктора к поиску наилуч-



шего компромиссного решения. Прежде чем приступить к разработке, конструктор должен иметь в своем распоряжении полную информацию о требованиях, предъявляемых к конкретному устройству рабочего места. Основные из них будут приведены ниже.

Перед конструктором рабочего места в СЧМ прежде всего стоит задача подбора и разработки таких средств взаимосвязи (органов управления и контроля) и средств оптимизации среды на рабочем месте, которые обеспечат выполнение всего комплекса параметров условий труда, предусмотренных системой стандартов безопасности труда (ССБТ). При этом следует не только учесть, но и превзойти лучшие аналоги в мировой технике. Расчет и подбор конструктивных параметров рабочего места в этом случае представляет собой вариационную задачу, в частности отыскивания экстремумов для функции нескольких переменных при условии получения минимума вредных воздействий на организм человека и максимальной работоспособности в течение рабочей смены. Работоспособность оператора во многом зависит от условий труда, характеризующихся показателями эргономичности рабочего места. Такие показатели по данным отдельных полевых исследований самоходных машин в большинстве случаев превышают установленные нормами и стандартами предельно допустимые уровни. В реальной рабочей обстановке возмущающие факторы действуют на СЧМ и в том числе на человека одновременно. Такое комплексное влияние вредных факторов полностью не изучено, и это обязывает конструктора придерживаться самых жестких (наименьших) пределов допускаемых уровней и концентраций вредностей, уделяя особое внимание тем случаям, когда возникает опасность одновременного воздействия на человека нескольких вредных факторов.

С целью установления жесткого контроля за санитарно-техническим состоянием техники для каждой машины должен быть составлен и утвержден Государственной санитарной инспекцией санитарно-технический паспорт (СТП) с указанием в нем допустимых и фактически обеспеченных на рабочем месте санитарно-гигиенических значений микроклимата, шума, вибрации, освещенности, усилий на органы управления и других параметров, установленных государственными стандартами нормами и правилами.

Руководствуясь санитарно-техническим паспортом и данными стандартов и норм, конструктор всегда старается ориентироваться на параметры с «опережением». Это означает, что дости-



жение лишь допустимых параметров (и то иногда с натяжкой) при изготовлении рабочей машины типа самоходных машин не может быть критерием лучшего решения конструкторской задачи, так как при эксплуатации машины в связи с неотвратимым износом механизмов и их деталей уровни вредных факторов, например шума, вибрации и прочих, увеличатся, ухудшая характеристики системы. Поэтому рациональные действия конструктора состоят в следовании принципу «опережения» (возможного ужесточения параметров), учитывающему естественный «снос» показателей.

При конструировании комплексов оборудования рабочего места машины следует четко определить:

— цель конструирования рабочего места – создание удобных, безопасных производительных условий труда, способствующих повышению эффективности проектируемой СЧМ;

— средства оптимизации – обеспечение конструктора до начала разработок всей существующей информацией о требованиях к рабочему месту на мобильных транспортных средствах и самоходных машинах.

В информацию, которой должен располагать конструктор, входят следующие основные вопросы:

1. задачи проектируемой СЧМ;
2. оптимальные методы и этапы решения конструкторской задачи;
3. условия окружающей среды: параметры микроклимата, чистота воздуха, шум, вибрация, освещенность, обзорность, солнечная радиация и т.д.;
4. допустимые и оптимальные отклонения характеристик работы системы (например, производительность, скорость и т.д.);
5. влияние отклонения характеристик и параметров на работу СЧМ;
6. алгоритм действий оператора (последовательность трудовых операций) с выделением основных операций и показом времени их выполнения;
7. антропометрические данные оператора для проектируемых машин и требования к объему свободного пространства;
8. информация оператора: входная – необходимая для осуществления оператором функций управления, выходная – вырабатываемая оператором с целью воздействия на систему.

Особое место занимают нормативная документация и стандарты, содержащие методы оценки всего комплекса параметров,



определяющих условия и требования безопасности труда оператора; в приложениях к стандарту приводятся рекомендуемые формы описания результатов испытания машин по всем показателям.

3.3.2. Работа оператора в положении «сидя» и «стоя»

Рабочая поза «сидя» имеет ряд преимуществ перед рабочим положением «стоя»: снижаются энергетические затраты организма человека, так как происходит расслабление отдельных групп мышц, наступает разгрузка работы сердечно-сосудистой системы, уменьшается нагрузка на мышцы, поддерживающие тело в равновесном состоянии, что способствует снижению утомления. В сидячем положении человек может выполнять легкую работу руками и тяжелую ногами значительно более длительное время, чем в рабочей позе «стоя»; при этом его организм защищен от резких толчков, качки, вибрации, а руки и ноги высвобождены для работы с органами управления; особенно облегчается работа с педалями.

При рабочей позе «сидя» уменьшается также нагрузка на мышцы спины, равномерно распределен вес по поверхности сидения, ослаблено напряжение мышц нижней части бедра.

Для этой рабочей позы характерны и свои недостатки. К ним следует отнести ограничение возможности изменять положение тела при работе, уменьшение зоны досягаемости, а также снижение возможности прилагать большую физическую силу. Длительная работа в положении «сидя» ведет к изменениям межпозвоночных связей и искривлению позвоночника, к расслаблению мышц живота, спины, к появлению сутулости. Особенно неблагоприятно отражается на деятельности организма неправильная поза, что вызывает преждевременную усталость, способствует деформации отдельных частей тела и снижению работоспособности человека.

На основе результатов многочисленных наблюдений за людьми, работающими в положении «сидя», установлено, что обычно 15 % из них сидят на передней части сиденья, 52 – посередине сиденья и 33 – на задней части сиденья, причем 42 % операторов опираются на спинку.

При компоновке кабины необходимо обеспечить выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля для работы «сидя» и «стоя» (рис. 3.3). При работе «сидя» область малой энергоемкости 1 расположена против груди опера-



Безопасность жизнедеятельности

тора, ниже расположены зоны: 2 – оптимальной, 3 – легкой досягаемости для часто используемых органов управления. В зоне 4 следует располагать редко используемые органы управления.

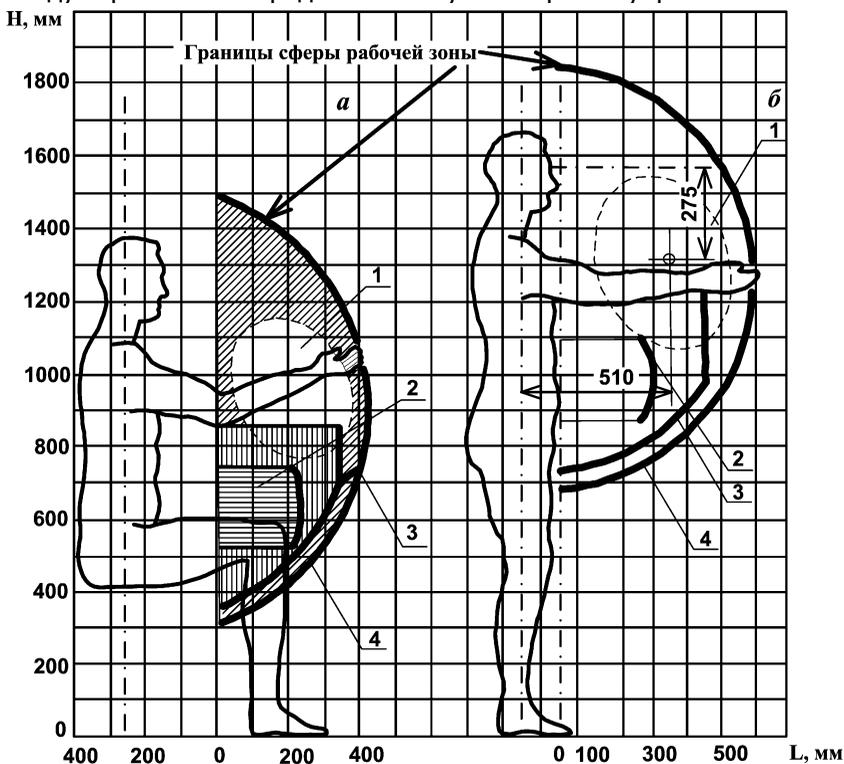


Рис. 3.3. Границы зон вертикального моторного поля для работы «сидя» (а) и «стоя» (б):

1 – контур области малой энергоемкости; 2 – зона оптимальной досягаемости для расположения очень часто используемых органов управления; 3 – зона легкой досягаемости для часто используемых органов управления; 4 – зона досягаемости для редко используемых органов управления.

Для работы в положении «стоя» наиболее часто используемые органы управления надо располагать в зоне малой энергоемкости 1 или оптимальной (наименьшей) энергоемкости, а редко используемые органы управления – в зонах 3 и 4 (см. рис. 3.3). На рис. 3.4 показаны аналогичные зоны в горизонтальной плоскости.

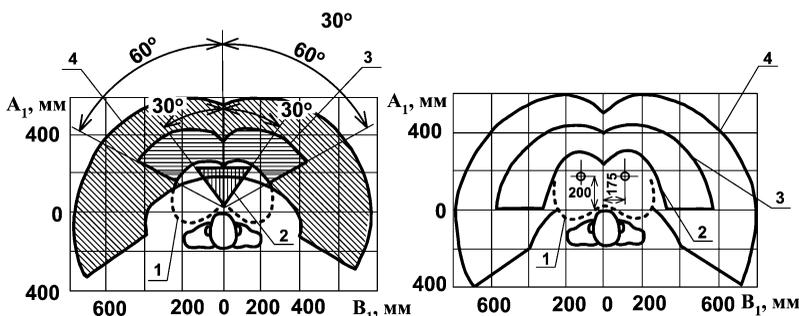


Рис. 3.4. Границы зон горизонтального моторного поля для работы «сидя» (а) и «стоя» (б) (обозначения см. на рис. 3.3.)

В процессе проектирования рабочего места оператора построение зон досягаемости (установление их размеров, объемов и т.д.) осуществляется во взаимосвязи с антропометрическими данными. При этом, как будет показано ниже, удобство с точки зрения человеческого тела разделяется на удобство статического и динамического соответствия. Динамическое соответствие включает не только размещение органов управления относительно оператора, но и приспособленность человека-оператора к комплексу оборудования и устройств рабочего места в процессе работы. Такое соответствие означает, что оператор имеет возможность осуществлять перемещение частей тела на различных уровнях вперед, назад и в поперечном направлении.

С целью адаптации элементов комплекса оборудования рабочего места оператора к оптимальным зонам в кабинах предусмотрена возможность регулирования отдельных элементов. Регулируемые параметры высоты рулевой колонки (рулевого колеса) сиденья пространства для ног необходимо подбирать по номограмме (рис. 3.5), устанавливающей зависимость этих параметров от роста оператора.

За высоту рулевого колеса принимается расстояние по вертикали от пола кабины до центра рулевого колеса по оси колонки. Если рулевое колесо не регулируется по высоте, то высоту его выбирают по номограмме для оператора ростом 1800 мм, а оптимальная рабочая поза оператора ниже 1800мм достигается путем увеличения высоты сиденья.

Рабочее положение оператора «стоя» принимается в тех случаях, когда работающему необходимо часто менять положение тела, передвигаться в различных направлениях, обеспечивать большую зону досягаемости и более широкое (по сравнению с положением «сидя») поле зрения. Если такая свобода передви-



Безопасность жизнедеятельности

жений требуется только при отдельных трудовых операциях, т.е. не в течение всей рабочей смены, то рабочее место нужно проектировать так, чтобы работающий мог сидеть и стоять (поза «сидя-стоя»).

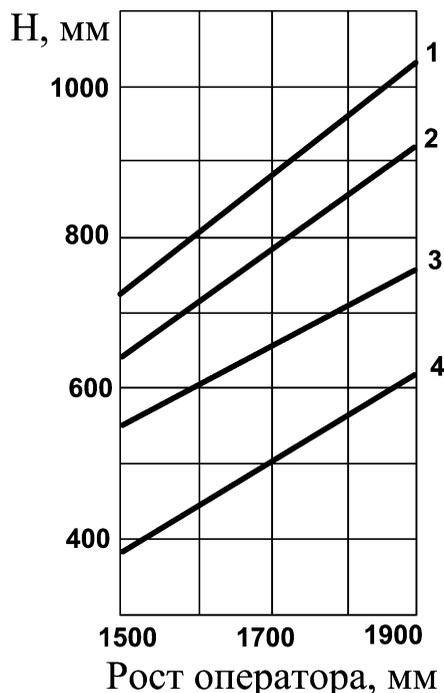


Рис. 3.5. Номограмма зависимости высоты расположения рулевого колеса, сиденья и пространства для ног от роста оператора для работы в положении «сидя»: 1 – высота для рулевого колеса при горизонтальном его расположении; 2 – для рулевого колеса по нижней точке при наклонном его положении; 3 – высота пространства для ног; 4 – высота сиденья оператора.

Во всех случаях проектирования рабочего места на самоходных машинах должно удовлетворять требованиям хорошей обозримости и зоны действия ручных и ножных органов управления. В положении «стоя» уменьшается зона управления ногами, тогда как в сидячей позе ограничены поле зрения и зона ручного действия оператора.

При работе стоя нельзя долго находиться в одном и том же положении, поэтому необходимо предусмотреть возможность изменения положения и обеспечения перерывов на отдых. Следует исключить неудобные позы, при которых тело, руки или ноги за-



нимают неестественное с точки зрения физиологии положение и требуют мышечные усилия статического характера.

Рабочее место должно быть спроектировано так, чтобы трудовые действия осуществлялись в пределах зоны досягаемости моторного поля, а наиболее часто выполняемые операции – в пределах зон наименьшей (оптимальной) и малой энергоемкости или зоны легкой досягаемости моторного поля.

Организация рабочего места и конструкция оборудования должны создавать условия для прямого и свободного положения корпуса тела или наклона его вперед не более чем на 15° .

3.3.3. Рабочее сиденье оператора.

Рабочее сиденье должно соответствовать стандарту, действующему в период проектирования машины и распространяющемуся на соответствующие виды самоходных машин.

При проектировании и конструировании сиденья рабочего места оператора основные размеры, параметры, положения **точки отсчета сиденья** (ТОС) должны соответствовать нормам, указанным на рис. 3.6.

В процессе проектирования (как на производстве, так и в курсовом или дипломном проектировании в учебном процессе) определяют координаты контрольной точки отсчета сиденья, которая обозначается как точка пересечения вертикальной плоскости, подходящей через ось сиденья, с теоретической осью поворота бедра относительно торса человека (практически это точка пересечения осей посадочного места и спинки сиденья, см. рис. 3.6.).

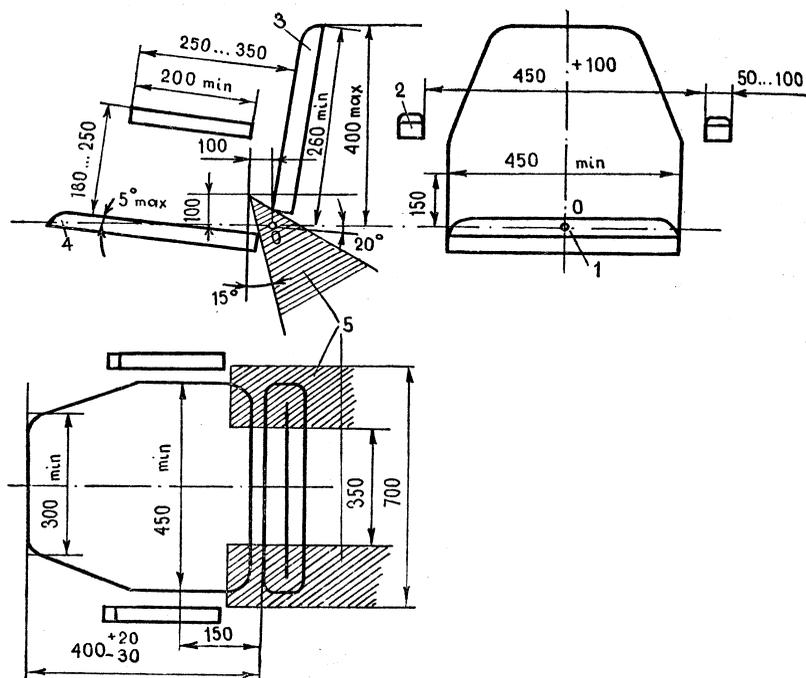


Рис. 3.6. Основные параметры и зона расположения ремня безопасности: 1 – точка отсчета сиденья (ТОС); 2 – подлокотник; 3, 4 – подушки; 5 – зона расположения крепления ремня. **Примечание.** Чертеж не определяет конструкцию сиденья, размеры спинки даны при угле наклона к вертикали 5° ; высота спинки должна быть указана в технических условиях на конкретную модель машины.

Для определения контрольной точки отсчета сиденья применяется специальное устройство, показанное на рис. 3.7, масса которого должна составлять $58,9 \pm 9,8$ Н (6 ± 1 кг).

Метод определения ТОС следующий:

- сиденье покрыть куском ткани для облегчения правильного размещения устройства;
- поместить устройство на сиденье, сдвинув его



Безопасность жизнедеятельности

назад и к спинке;

— установить дополнительные массы, доведя общую массу устройства от $58,9 \pm 9,8$ Н (6 ± 1 кг) до $255,7 \pm 9,8$ Н (26 ± 1 кг);

— вертикальное усилие в результате дополнительных масс должно быть приложено на расстоянии 40 мм перед ТОС (точкой отсчета) (рис. 3.7);

— дважды приложить к устройству в точке ТОС горизонтальное усилие 100 Н, как показано на рис. 3.7;

— установить дополнительные массы, доведя общую массу устройства от $255,7 \pm 9,8$ Н (36 ± 1 кг) до $637,65 \pm 9,8$ Н (65 ± 1 кг);

— в двух вертикальных плоскостях проведенных с обеих сторон сиденья на равных расстояниях от продольной осевой плоскости сиденья, определить с точность ± 1 мм координаты точек пересечения этих плоскостей с осями ТОС (обозначенными на устройстве по центру).



Разработка сиденья оператора машины при курсовых и дипломных работах должна содержать и элементы творческого характера с учетом достижений научно-технического прогресса в отрасли, которые в большинстве случаев опережают стандарты, действующие по несколько лет. В ходе учебного процесса очень полезны предложения проектантов в части рационализации рабочего места. Поэтому наряду с использованием стандартов, содержащих готовые рекомендации, следует учитывать общие требования к проектированию сиденья.

При проектировании новых самоходных машин, управляемых человеком, преобладающее значение имеют введение устройств, позволяющих регулировать рабочее место в соответствии с размерами тела оператора. Важную роль в приспособлении рабочего места к антропометрическим характеристикам человека-оператора играет регулируемое кресло-сиденье. Регулируемые устройства для комплексов оборудования рабочего места (сиденье, рулевая колонка, органы управления, пульты и т.п.) в мировой практике создаются, как правило, совместными трудами инженеров-разработчиков машин со специалистами биомеханики и электроники.

На рис. 3.8 показано регулируемое кресло (экспериментальное), созданное в лаборатории биомеханики французского Национального института транспорта и его безопасности.

Изменяя 12 параметров этого кресла – положение спинки, сиденья и т.д., можно подобрать наиболее комфортный для оператора вариант и исследовать взаимосвязь регулируемых параметров. Регулировка в основном производится нажатием кнопок на пульте (справа от руля). В спинку сиденья вмонтированы датчики для определения положения позвоночника сидящего оператора-экспериментатора.

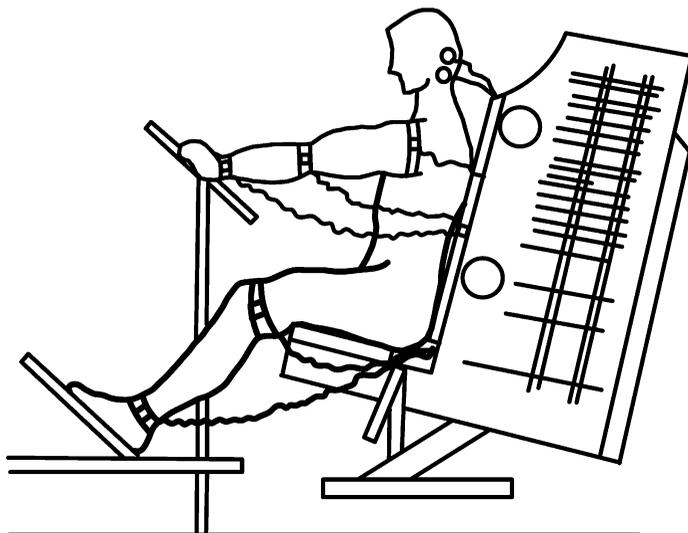


Рис. 3.8. Экспериментальное регулируемое кресло.

Что следует принимать во внимание при конструировании рабочего сиденья оператора новых сельскохозяйственных машин?

В конструкции сиденья, обеспечивающего физиологически правильную и удобную позу оператора, учитываются характерные особенности трудовой деятельности, антропометрические и физиологические данные, полученные путем анализа рабочей позы при выполнении конкретного вида работ. При выборе формы сиденья необходимо принимать во внимание не только анатомию человека, но и динамику его рабочих движений. Сиденье должно оптимально способствовать выполнению производственного процесса. Наиболее удобное положение тела в рабочей позе «сидя» достигается при разнице высот нижнего края колеса рулевой колонки и сиденья в 250–290 мм.

Спинка кресла должна способствовать естественному наклону таза и позвоночника сидящего человека и не ограничивать зоны досягаемости рук, ее верхняя часть располагается под лопатками на уровне 330–360 мм над сиденьем. Если кресло не имеет спинки, напрягаются и утомляются мышцы спины оператора. В таких случаях необходимо обеспечить опору для нижней части рук и локтей.

При выборе или оценке целесообразности данной конструкции рабочего сиденья, т.е. при определении его функционального назначения, следует учитывать:

— конкретное назначение сиденья и рабочего места, взаимосвязь между сиденьем и рулевым колесом, зоной дося-



Безопасность жизнедеятельности

гаемости, органами управления и важнейшими элементами рабочего места;

- физическую или активную механическую нагрузку, объем и вид нагрузки (например, сила, необходимая для манипулирования организмом управления, переключения педалей и т.д.);

- необходимые рабочие положения и движения рук, ног, корпуса тела; возможность опереться на локти или на ноги, откинуться на спинку кресла и т.д.;

- воздействие внешних сил на сидящего (изменение скорости движения, вибрация и толчки влияют на устойчивость сиденья);

- антропометрические данные оператора;

- возможность манипулирования сиденьем (регулировка в вертикальном и горизонтальном направлениях, поворот вокруг оси).

Удобство и физиологическая приемлемость сиденья зависят от выполнения основных требований эргономики, т.е. обеспечения:

- возможности изменения положения тела при работе «сидя» в течение всей смены (надлежащая конструкция сиденья обеспечивает возможность принимать различные удобные рабочие положения «сидя» и определенную свободу движения конечностей);

- регулировки высоты сиденья в пределах 370–520 мм и спинки кресла – 650–750 мм в зависимости от высоты его рабочей поверхности и роста оператора;

- достаточного закругления переднего края сиденья (с радиусом около 30 мм), отсутствия давления на нижнюю часть бедер, препятствующего кровообращению;

- наклона опорной поверхности назад на угол 3–5° в зависимости от характера работы;

- вогнутой формы опорной поверхности сиденья радиусом около 850 мм, которая значительно удобнее ровной или сильно вдавленной.

Высота обычного сиденья не должна превышать высоты колена, а спинка кресла подпирает спину на уровне 2–5-го позвонков.

На средствах транспорта, особенно предназначенных для движения в полевых условиях, сиденья следует хорошо прорессоривать для амортизации толчков. Сиденья для мобильной техники контролируются в соответствии с действующим стандартом.



ЛИТЕРАТУРА

1. Адамович Н.В. Управляемость машин – М.: 1977. – 280 с.
2. Аксенов О.В. Оценка уровня биофизической совместимости в авиационных эргатических систем // Авиационная эргономика. – Киев. 1987 С. 32.
3. Аствацатуров А.Е. Инженерная эргономика машин. РГУ. – Ростов-на-Дону: 1987. – 144 с.
4. Аствацатуров А.Е. Основы инженерной эргономики. РГУ. – Ростов-на-Дону: 1991. С.18, С.60. – 208с.
5. Беллма Р. Процессы регулирования с адаптацией. Пер. с англ. – М.: 1964. – 202 с.
6. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. – М.: 1963. – 352 с.
7. Вудсон У., Коновер Д. Справочник по инженерной психологии для инженеров и дизайнеров – конструкторов – М.: 1988. – 517 с.
8. Гладков Д.И. Оптимизация систем неградиентным случайным поиском. – М.: 1984. С. 256.
9. Дилон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. Пер. с англ. – М.: 1984. – 318 с.
10. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход. Пер. с польск. – М.: 1981. – 456 с.
11. Дроздов Е.А., Пятибратов А.П. Основы построения и функционирования вычислительных систем – М.: 1983. С.368.
12. Зефельд В.В., Мунимов В.М., Чернышева О.Н. Предпроектное эргономическое моделирование – М.: 1981 С.92.
13. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля – М.: 1971. – 416 с.
14. Мейстер Д. Эргономические основы разработки сложных систем. Пер. с англ. – М.: 1979. – 451с.
15. Мичулин В.В., Пятибратов А.П. Эффективность систем обработки информации. – М.: 1972. С. 280.
16. Морган К.Т., Чапанис А., Джесси С., и др. Инженерная психология в применении к проектированию производственного оборудования – М.: 1981 485 с.
17. Пашковский И.М. Устойчивость и управляемость самолета – М.: 1979. – 328 с.
18. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика – М.: 1980. С. 496.
19. Пятибратов А.П. Человеко-машинные системы: эффект эргономического обеспечения – М.: 1987. – 200 с.



- 20.Смирнов Б.А., Душков Б.А., Космолинский Ф.П. Инженерная психология. Экономические проблемы. – М.: 1983. – 224 с.
- 21.Смирнов Б.А., Душков Б.А. Космолинский Ф.П. Инженерная эргономика. – М.: 1988. – 224 с.
- 22.Энциклопедия кибернетики. Т.2 С.587, С529, С.252. – Киев: 1975.
- 23.Carter A.D.S. Mechanical Reliability, Wiley, London 1992.
- 24.Clark H.H., Clark E.V. Psychology and language. N.Y., 1977 225p.
- 25.Hagel E.W. Editor, Human Reliability Analysis, Nucl. Safety. 17, 315-326 (1976).
- 26.Jelinski Y., Moranda P. Software Reliability Research. Yn: Statistical Computer Performance Evaluation, Ed. by Walter Freiberger, Academic, New York 1982.
- 27.Kececioglu D. Probabilistic Design Methods for Reliability and their Data and Research Requirements, Failure Prevention and Reliability Conference Proceedings, ASME, New York 1977.
- 28.Meister D. Human Factors in Reliability Yn: Ed. by Yreson W. Handbook, New York 1966 [Имеется перевод Мейстер Д. Роль факторов инженерной психологии в обеспечении надежности. В кн.: Справочник по надежности – М.: 1969.]
- 29.Moranda P.L., Jelinski J. Final Report on Software Reliability Study Mc Donnell Douglas Astronautic Company, MDC Report №. 63921. Dec. 1972.
- 30.Moranda P.L., Jelinski J. Software Reliability Research Yn.: Statistical Computer Performance Evaluation, Ed. by Walter Freiberger, Academic, New York, 1972.
- 31.Shooman M.L. Software Reliability: Measurement and Models, Proceedings of the 1973 Annual Reliability Symposium, YEEE, New York 1995.
- 32.Singh C., Billinton R. System Reliability Modelling and Evaluation, Hutchinson, London, 1977.
- 33.Sukert A.N. An Ynvestigation of Software Reliability Models, Proceedings of the 1977 Annual Reliability and Maintainability Symposium, YEEE, New York 1977.
- 34.Swain A.D. Development of a Human Error Rate Data Bank, February 1977.
- 35.Wolverton R.W., Schick G.J. Assessment of Software Reliability, TRW Systems Group, Report №. TRW – SS – 72 – 04, Sept. 1972.