



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и защита
окружающей среды»

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ С УЧЕТОМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

Учебное пособие

Авторы

Аствацуров А.Е.

Басилаиа М.А.

Попов С.И.

Валявин В.Ю.

Ростов-на-Дону, 2012



Аннотация

В данном учебном пособии 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.

Авторы:

Аствацатуров А.Е. - д.ф.н., доцент,

Басилаиа М.А. - д.ф.н., проф.,

Попов С.И. - к.т.н., доцент,

Валявин В.Ю. - к.т.н. .





Оглавление

Глава 1. Теоретические основы безопасности рабочего места человека – оператора технической системы 5

1.1. Проблема «человек – машина»	5
1.2. Система «человек – машина – среда»	6
1.3. Структура системы «человек – машина – среда»	14
1.4. Техническая система, управляемая человеком	16
1.5. Управляемость машины	18
1.6. Методологическая основа инженерной безопасности и экологичности.....	21

Глава 2. Надежность управляемости 26 сложных технических систем 26

2.1. Эволюция сложных систем «человек-машина»	30
2.2. Надежность человека-оператора	33
в сложной технической системе.....	33
2.3. Зависимость эффективности и безопасности	34
работы СЧМ от уровня нагрузок.	34
2.4. Классификация и причины ошибок	36
человека-оператора.....	36
2.5. Повышение безопасности технических систем	42
путем совершенствования программного обеспечения	42
2.6. Модели надежности программного обеспечения.....	42
2.7. Комментарии по проверке модели	48
2.8. Предпосылки к оценке безопасности механических систем.....	50

Приложение Общая методика расчета технико-экономической эффективности эргономического



обеспечения СЧМ..... 54

1. Общая методика расчета частных показателей первой группы..54

2. Общая методика расчета частных показателей второй группы ..60

3. Общая методика расчета частных показателей третьей группы

[19].....66

Литература 82

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТ 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.



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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 эргономика 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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

[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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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 конструкция. 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].



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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, осуществлять 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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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, посылает команды управления на исполнитель сигналов управления через регулятор исполнителя.

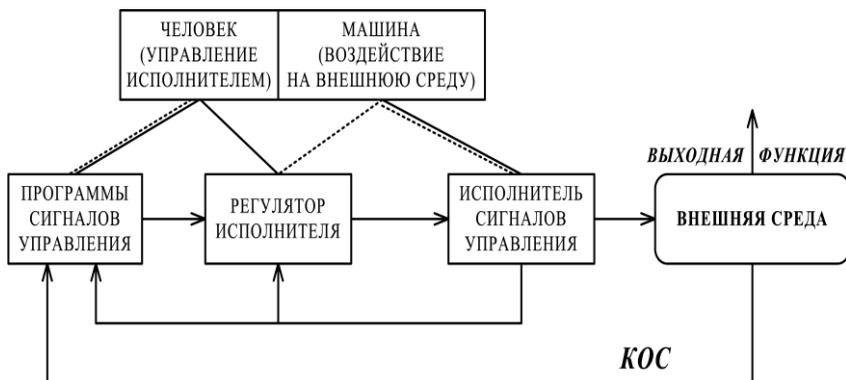


Рис. 1.2. Схема системы «человек – машина».



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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 и защита окружающей среды

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

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

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

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.

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».

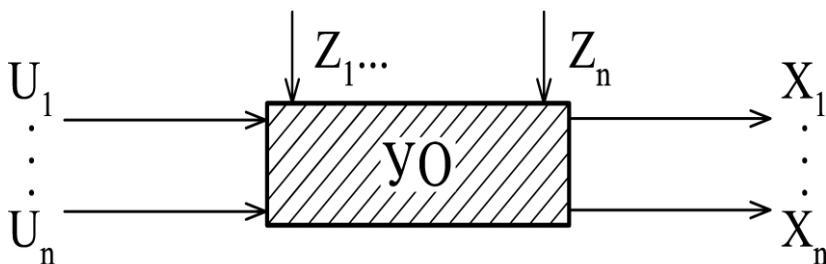


Рис. 1.3. Структурная схема управляемого объекта.

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

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

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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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,



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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 разобщенные 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,



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

уменьшает опасное рассеивание отбросов 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. 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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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. Котарбинский, 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 технического 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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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 q_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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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.

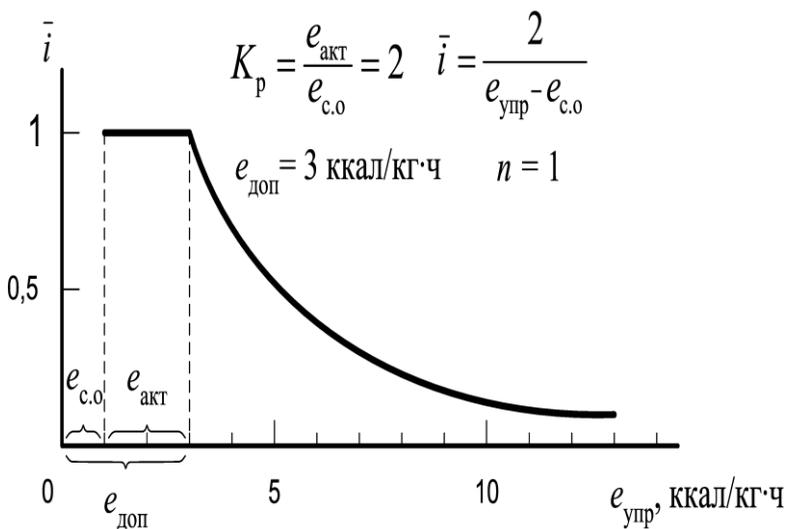


Рис. 2.1. Зависимость коэффициента выполнения функций управления \bar{i} от энергозатрат организма $e_{упр}$.

Если ориентироваться на данные представленные в работе [1],



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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 организма $e_{доп} - e_{упр}$ 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

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

Обеспечить значение $\bar{i} = 1$ в этом случае можно двумя



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

путями: снизить энергоемкость выполнения функций управления (например, введением автоматизации части этих функций) или увеличить разность $e_{\text{доп}} - e_{\text{упр}}$ 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 «человек-машина» представлена на Рис. 2.2, где показан постепенный (ступенчатый) переход системы от ручного управления к машине автомат.

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

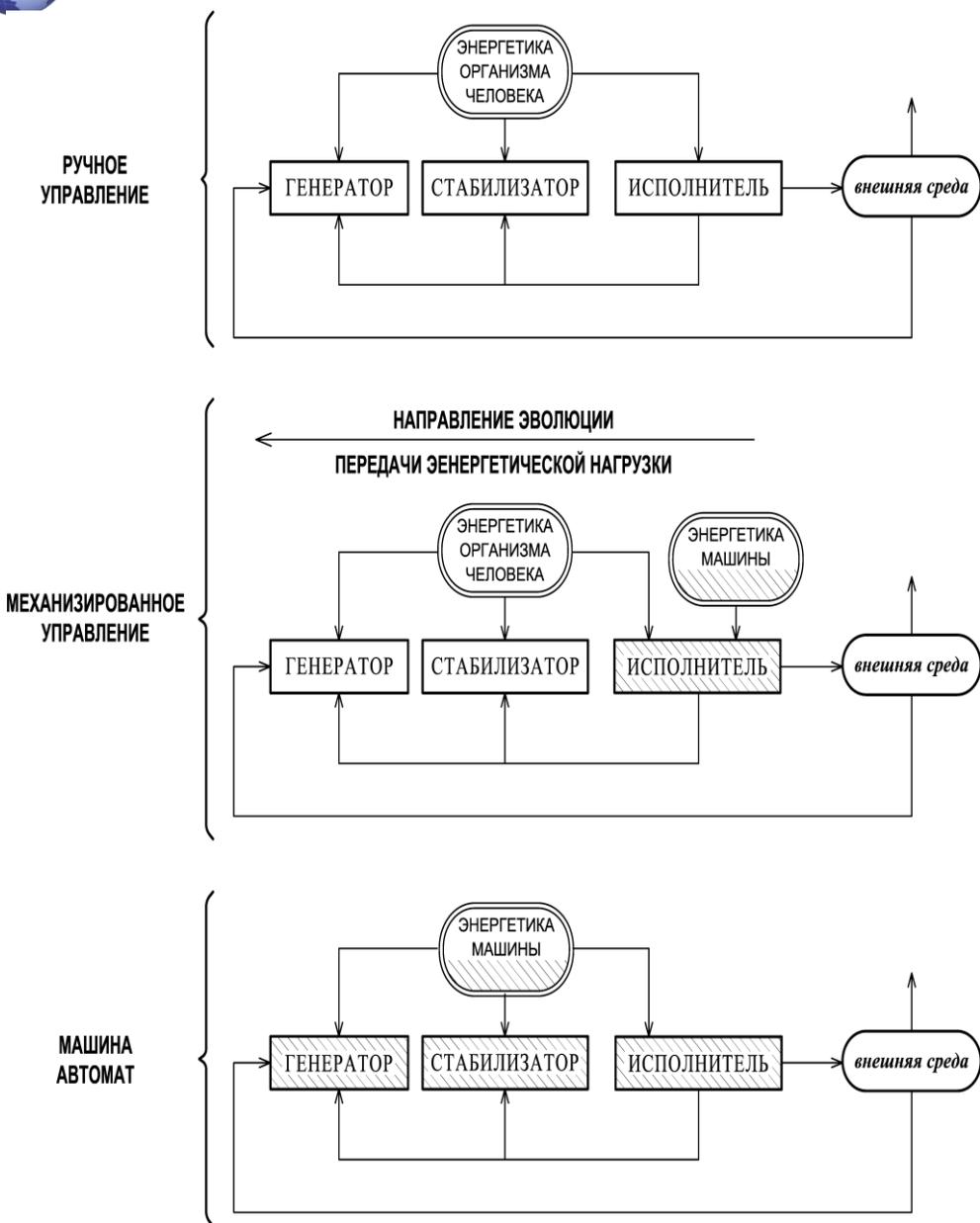


Рис. 2.2. Эволюция системы «человек – машина».



2.2. Надежность человека-оператора в сложной технической системе.

Безопасность сложной технической системы, ее надежность и эффективность в значительной степени зависят 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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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 нагрузок.

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-за неправильной или не точной оценки воз-



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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.

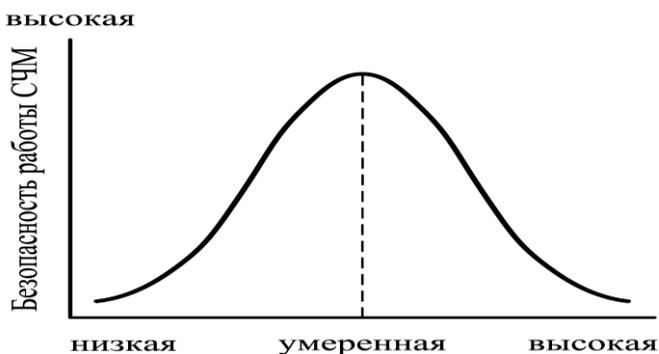


Рис. 2.3. Зависимость безопасности управляемости и нагрузки на человека-оператора.



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. Неэффективную 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 доходящих 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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

необходимо располагать анализом причин ошибок совершаемых человеком в названных условиях.

Различают три основные 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).

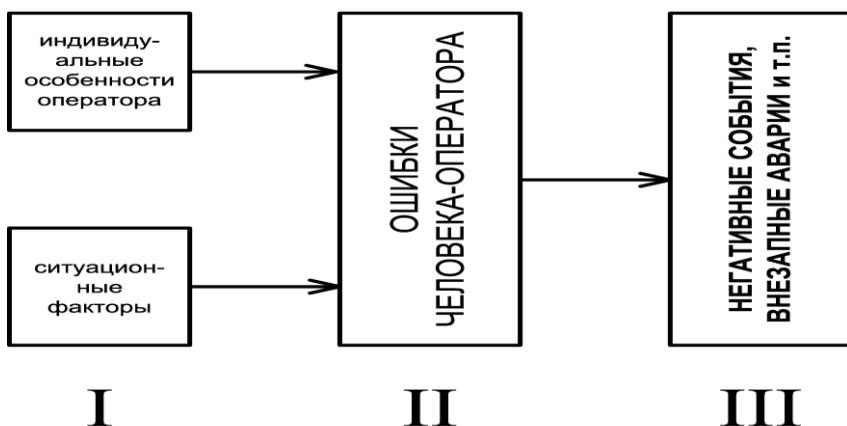


Рис. 2.4. Классификация уровней ошибок.

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 неудовлетвори-



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

тельным 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;

- 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 категориями.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, описан-

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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

ный 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].

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 определенных 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 автора-



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

ми, которые в своих исследованиях 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:

- 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]

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

где x – продолжительность отладки программы, отсчитываемая от момента начала компоновки системы программного обеспечения; $e(0)$ – отношение числа ошибок E_0 , имеющих в программе в момент $x = 0$, к общему числу команд на машинном языке I , т.е. $e(0) = E_0/I$; $e_c(x)$ – 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

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 и защита окружающей среды

$$\lambda_s(t) = K_s e_r(x), \tag{2.2}$$

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:

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

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

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

Оценивание параметров модели. Подставляя соотношение (2.1) в формулу (2.4), получаем следующее выражение для среднего времени безотказной работы:

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

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



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

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

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

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

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

работы, соответствующее периоду отладки программы x_i ;

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

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

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

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 про-

граммы ошибка еще не появилась или если обнаруженная в системе ошибка исправлена, а следующая ошибка еще не появилась. Диаграмма изменения состояний системы приведена на рис. 2.5.

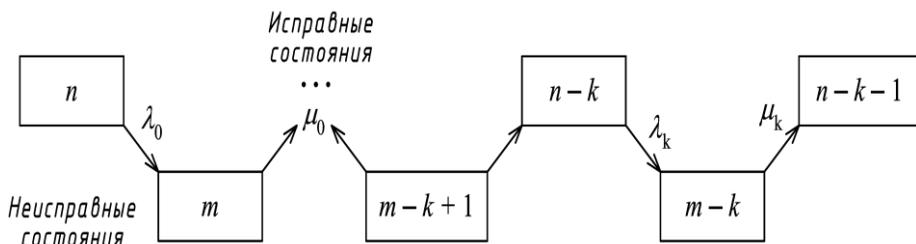


Рис. 2.5. Марковская модель.

Используя известные методы [32], можно вывести дифференциальные уравнения состояния 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, неготовность системы определяется с помощью формулы [34]

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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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.

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

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

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

и среднее время безошибочной работы

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

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

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

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

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

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 данных. 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 оборудо-

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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

вания 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.

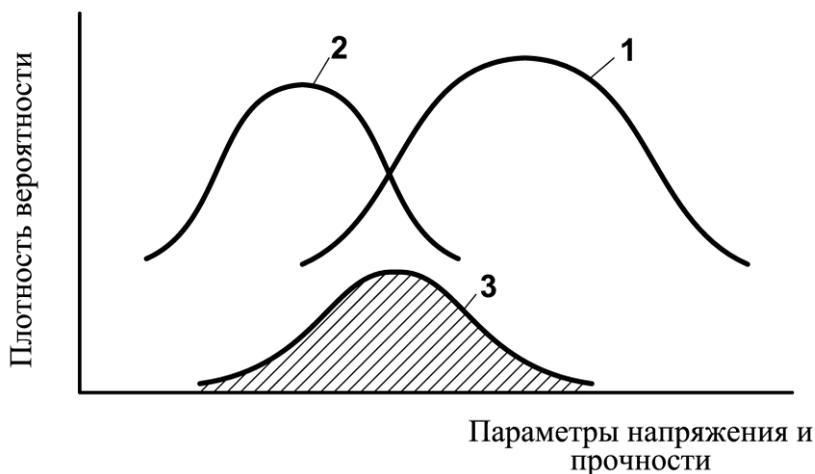


Рис. 2.6. Зависимость надежности от соотношения между распределениями напряжений и прочности.

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



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

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

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

где M_s – средняя прочность, M_{\max} – максимальное напряжение, δ_s – среднеквадратичное отклонение прочности и $M_{\max} = M_{ss} + k\delta_{ss}$; (здесь M_{ss} – среднее напряжение, δ_{ss} – среднеквадратичное 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]



ПРИЛОЖЕНИЕ

ОБЩАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭРГНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЧМ

1. Общая методика расчета частных показателей первой группы

С помощью частных показателей первой группы оценивается экономическая эффективность отдельной **эргономической разработки (ЭР)** или группы родственных ЭР. Значение некоторого частного показателя первой группы в сущности представляет собой суммарную экономию на текущих затратах за определенный промежуток времени (за расчетный год, если эта экономия используется, кроме того, для расчета общих показателей экономической эффективности), полученную по всем источникам экономии, создаваемым при внедрении рассматриваемой ЭР или группы родственных ЭР. Суммарная экономия включает все компоненты, получаемые за счет предотвращенного ущерба (ΔC_{Γ}), снижения себестоимости продукции (ΔC_s) и увеличения объема производимой продукции вследствие роста производительности труда (ΔC_A). При этом учитывается как прямая экономия, имеющая непосредственное стоимостное выражение, так и косвенная (опосредованная), для которой стоимостное выражение представляет собой стоимость прироста целевого эффекта СЧМ, обусловленного внедрением рассматриваемой ЭР.

Таким образом, для оценки экономической эффективности отдельной ЭР необходимо найти суммарную годовую экономию по всем источникам экономии, создаваемым этой ЭР, и по всем видам экономии (ΔC_{Γ} , ΔC_s , ΔC_A).



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

Суммарная экономия используется при определении показателей экономического эффекта (ΔT) и экономической эффективности (E_{Σ} , T_{OK}) рассматриваемой ЭР.

В этом проявляется общий подход к определению частных показателей всех групп, используемых для оценки частного экономического эффекта за счет эргономического обеспечения СЧМ.

Ниже рассматривается общая методика определения частных показателей первой группы. Методика представляет собой совокупность взаимосвязанных операций, последовательное выполнение которых дает возможность получить значения показателей с учетом дифференциации годовой экономии за счет **системы эргономического обеспечения разработки и эксплуатации (СЭОРЭ)** СЧМ по ее видам и источникам. Общность методики заключается в том, что она не привязана ни к определенным типам СЧМ, ни тем более к конкретным образцам систем. Однако при расчете частных показателей технико-экономической эффективности эргономического обеспечения конкретной СЧМ операции, составляющие методику, в любом случае должны выполняться. В общей методике не конкретизируются эргономические разработки и создаваемые ими источники экономии. Поэтому не рассматриваются и конкретные алгоритмы определения годовой экономии по ее видам и источникам экономии. Порядок расчета частных показателей устанавливается для всех практически возможных вариантов определения суммарной годовой экономии, получаемой за счет СЭОРЭ.

Указанные замечания по поводу общей методики в равной степени относятся к методикам определения частных показателей второй и третьей групп. Наиболее сложными являются общие



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

алгоритмы определения частных показателей третьей группы в случае, когда ставится задача дифференциации годовой экономии, получаемой за счет эргономического обеспечения СЧМ, по эргономическим разработкам, источникам и видам экономии. В этом случае при оценке эффективности эргономического обеспечения конкретной СЧМ необходимо проводить глубокий экономический анализ каждой эргономической разработки, входящей в состав СЭОРЭ.

Порядок расчета частных показателей первой группы рассмотрим в общем виде. Пусть при внедрении некоторой ЭР создается ряд **источников прямой и косвенной экономии ИЭ-1, ИЭ-2, ..., ИЭ-М** (рис. 1.1). По каждому из этих источников экономия в общем случае может достигаться за счет: предотвращенного ущерба (ΔC_{Π_i} где $i = \overline{1;M}$), снижения себестоимости продукции (ΔC_{S_i}), прироста объема выпускаемой продукции (ΔC_{A_i}).

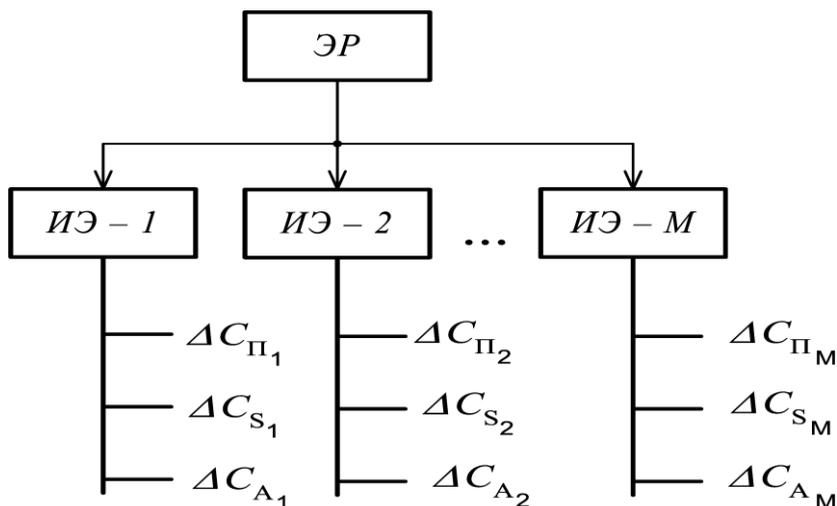


Рис. 1.1. Вариант схемы связи эргономической разработки и

источников экономии для расчета показателей первой группы.

Тогда суммарная годовая экономия на текущих затратах по всем источникам экономии и по всем видам экономии, получаемая при внедрении ЭР, будет:

а) в соответствии с первым вариантом расчета, когда суммируется годовая экономия различных источников экономии (суммирование по вертикали):

$$\Delta C_{\Sigma} = \Delta C_{\Sigma 1} + \Delta C_{\Sigma 2} + \dots + \Delta C_{\Sigma M} = \sum_{i=1}^M \Delta C_{\Sigma, i}; \quad (1.1)$$

б) в соответствии со вторым вариантом расчета, когда суммируется годовая экономия по ее видам (суммирование по горизонтали):

$$\Delta C_{\Sigma} = \Delta C_{\Pi\Sigma} + \Delta C_{S\Sigma} + \Delta C_{A\Sigma}, \quad (1.2)$$

где

$$\Delta C_{\Sigma,1} = \Delta C_{\Pi_1} + \Delta C_{S_1} + \Delta C_{A_1}; \quad (1.3)$$

$$\Delta C_{\Sigma,2} = \Delta C_{\Pi_2} + \Delta C_{S_2} + \Delta C_{A_2}; \quad (1.4)$$

$$\Delta C_{\Sigma, M} = \Delta C_{\Pi M} + \Delta C_{S M} + \Delta C_{A M}; \quad (1.5)$$

$$\Delta C_{\Pi\Sigma} = \Delta C_{\Pi_1} + \Delta C_{\Pi_2} + \dots + \Delta C_{\Pi M} = \sum_{i=1}^M \Delta C_{\Pi i}; \quad (1.6)$$

$$\Delta C_{S\Sigma} = \Delta C_{S_1} + \Delta C_{S_2} + \dots + \Delta C_{S M} = \sum_{i=1}^M \Delta C_{S, i}; \quad (1.7)$$



$$\Delta C_{A\Sigma} = \Delta C_{A_1} + \Delta C_{A_2} + \dots + \Delta C_{A_M} = \sum_{i=1}^M \Delta C_{A_i}; \quad (1.8)$$

В формулах (1.1) – (1.8) использованы обозначения:

ΔC_{Σ} , i – суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, получаемая только за счет i –го источника экономии (ИЭ), вызванного внедрением рассматриваемой ЭР, причем $i = \overline{1; M}$; $\Delta C_{\Pi\Sigma}$, $\Delta C_{S\Sigma}$, $\Delta C_{A\Sigma}$ – суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах по всем источникам экономии, получаемая за счет соответственно: предотвращенного ущерба ($\Delta C_{\Pi\Sigma}$), снижения себестоимости продукции ($\Delta C_{S\Sigma}$), роста производительности труда операторов СЧМ ($\Delta C_{A\Sigma}$); $\Delta C_{\Pi i}$ – суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, получаемая по i -му источнику экономии ($i = \overline{1; M}$) только за счет предотвращенного ущерба; $\Delta C_{S,i}$ – то же, но за счет снижения себестоимости продукции; $\Delta C_{A,i}$ – то же, но за счет роста производительности труда.

Величины, фигурирующие в формулах (1.1 – 1.8), представляют собой частные показатели первой группы, используемые для оценки экономического эффекта и экономической эффективности отдельной ЭР. Все они могут быть разделены на отдельные подгруппы (уровни) в зависимости от их порядка малости.

Величина ΔC_{Σ} - это частный показатель 1-го уровня.

Величины $\Delta C_{\Sigma,1}$, $\Delta C_{\Sigma,2}$, ..., $\Delta C_{\Sigma,M}$, а также величины $\Delta C_{\Pi\Sigma}$, $\Delta C_{S\Sigma}$, $\Delta C_{A\Sigma}$ - это частные показатели 2-го уровня.

Величины ΔC_{Π_1} , ΔC_{S_1} , ΔC_{A_1} , ΔC_{Π_2} , ΔC_{S_2} , ΔC_{A_2} , ...,



$\Delta C_{ПМ}$, ΔC_{SM} , ΔC_{AM} – это частные показатели 3-го уровня.

В практических расчетах далеко не всегда можно дифференцировать годовую экономию, получаемую при внедрении рассматриваемой ЭР, по создаваемым источникам экономии и по видам экономии с целью определения конкретных значений частных показателей 3-го уровня (к тому же не всегда в этом возникает необходимость). В этом случае можно ограничить расчетом знаний частных показателей 2-го уровня, которые в сумме дадут значение частного показателя 1-го уровня [см. формулы (1.1) и (1.2)].

В зависимости от конкретных задач оценки экономической эффективности рассматриваемой ЭР (или групп родственных ЭР, или, наконец, подсистемы СЭОРЭ без деления ее на отдельные ЭР) и от возможностей дифференцирования получаемой суммарной годовой экономии по создаваемым источникам экономии и видам экономии величина ΔC_{Σ} рассчитывается в соответствии с одним из двух указанных вариантов.

Методика расчета частных показателей первой группы заключается в выполнении следующих операций:

1. анализ задачи оценки экономической эффективности внедряемой (для априорной оценки) или внедренной (для апостериорной оценки) ЭР (группы родственных ЭР);

2. выявление и анализ источников прямой и косвенной экономии, создаваемых при внедрении ЭР; установление видов экономии по каждому источнику;

3. уяснение степени возможной дифференциации суммарной годовой экономии (прямой и косвенной) по создаваемым за счет ЭР источникам экономии и по видам экономии; установление перечня частных показателей 3-го и 2-го уровней, конкретные значения



которых могут быть определены;

4. выбор одного из двух вариантов расчета частных показателей: путем суммирования годовой экономии различных источников экономии (первый вариант); путем суммирования годовой экономии по ее видам (второй вариант). При необходимости и возможности могут быть использованы оба варианта расчета;

5. выбор алгоритмов или их разработка (если готовых алгоритмов нет) для расчета частных показателей;

6. определение конкретных значений исходных данных, необходимых для расчета частных показателей по выбранным (разработанным) алгоритмам;

7. расчет конкретных значений частных показателей.

2. Общая методика расчета частных показателей второй группы

С помощью частных показателей второй группы оценивается экономия (прямая и косвенная), получаемая по заданному источнику экономии, создаваемому при внедрении ряда ЭР. Значение частного показателя второй группы представляет собой суммарную экономию на текущих затратах за фиксированный промежуток времени эксплуатации СЧМ (обычно за расчетный год, если эта экономия используется, кроме того, для определения общих показателей экономической эффективности), полученную для заданного источника экономии по всем видам экономии (за счет предотвращенного ущерба, снижения себестоимости продукции, прироста объема выпускаемой продукции), создаваемой при внедрении ряда рассматриваемых ЭР.

Таким образом, для оценки экономической эффективности ряда ЭР по одному создаваемому ими источнику экономии



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

необходимо прежде всего найти суммарную годовую прямую и косвенную экономию (ΔC_{Σ}) по этому источнику за счет всех видов экономии (ΔC_{Π} , ΔC_S , ΔC_A). Затем эта суммарная экономия на текущих затратах используется для определения показателей экономического эффекта (\mathcal{E}_T) и экономической эффективности ($E_{\mathcal{E}}$, T_{OK}) рассматриваемого ряда ЭР.

Порядок расчета частных показателей второй группы рассмотрим также в общем виде. Пусть при внедрении некоторого ряда эргономических разработок – ЭР-1, ЭР-2, ..., ЭР-N (рис. 1.2) – создается один источник экономии ИЭ (только прямой, либо только косвенной, либо прямой и косвенной одновременно). В общем случае по этому источнику может достигаться экономия за счет: предотвращенного ущерба (ΔC_{Π}), снижения себестоимости продукции (ΔC_S), прироста объема выпускаемой продукции (ΔC_A).

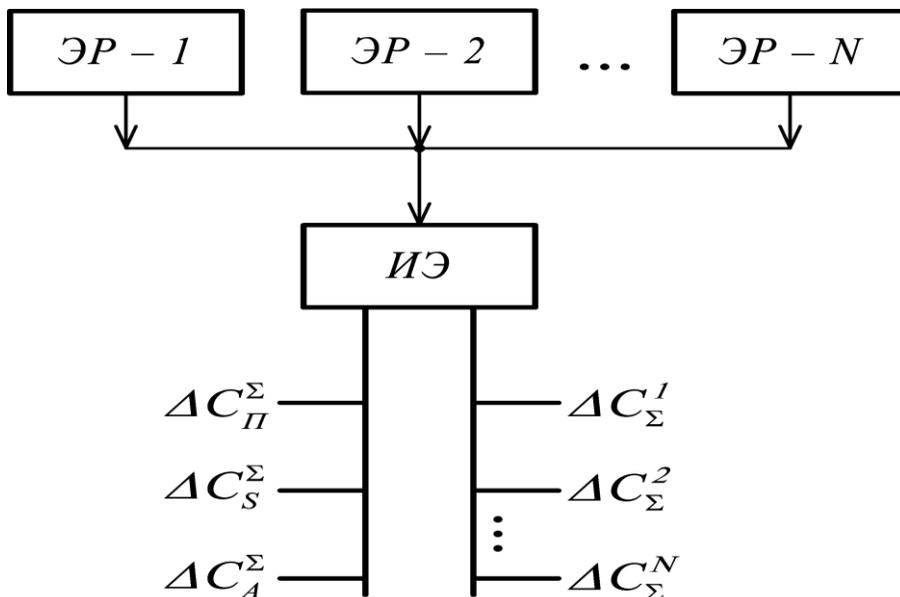


Рис. 1.2. Вариант схемы связи эргономических разработок и

источника экономии для расчета частных показателей второй группы.

Тогда суммарная годовая экономия на текущих затратах за счет всех видов экономии по заданному источнику экономии, создаваемому при внедрении рассматриваемого ряда эргономических разработок, будет:

а) в соответствии с первым вариантом расчета, когда суммируется годовая экономия по ее видам:

$$\Delta C_{\Sigma} = \Delta C_{II}^{\Sigma} + \Delta C_S^{\Sigma} + \Delta C_A^{\Sigma} \quad (1.9)$$

б) в соответствии со вторым вариантом расчета, когда суммируется годовая экономия, получаемая по заданному источнику экономии отдельно за счет каждой ЭР из числа внедряемых:

$$\Delta C_{\Sigma} = \Delta C_{\Sigma}^1 + \Delta C_{\Sigma}^2 + \dots + \Delta C_{\Sigma}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{\Sigma}^j ; \quad (1.10)$$

где

$$\Delta C_{II}^{\Sigma} = \Delta C_{II}^1 + \Delta C_{II}^2 + \dots + \Delta C_{II}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{II}^j ; \quad (1.11)$$

$$\Delta C_S^{\Sigma} = \Delta C_S^1 + \Delta C_S^2 + \dots + \Delta C_S^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_S^j ; \quad (1.12)$$

$$\Delta C_A^{\Sigma} = \Delta C_A^1 + \Delta C_A^2 + \dots + \Delta C_A^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_A^j ; \quad (1.13)$$

$$\Delta C_{\Sigma}^1 = \Delta C_{II}^1 + \Delta C_S^1 + \Delta C_A^1 ; \quad (1.14)$$

$$\Delta C_{\Sigma}^2 = \Delta C_{II}^2 + \Delta C_S^2 + \Delta C_A^2 ; \quad (1.15)$$



$$\Delta C_{\Sigma}^N = \Delta C_{II}^N + \Delta C_S^N + \Delta C_A^N; \quad (1.16)$$

В формулах (1.9) – (1.16) использованы следующие обозначения [19]:

$\Delta C_{II}^{\Sigma}, \Delta C_S^{\Sigma}, \Delta C_A^{\Sigma}$ – суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, получаемая по заданному источнику экономии, создаваемому при внедрении рассматриваемого ряда ЭР соответственно за счет предотвращенного ущерба (ΔC_{II}^{Σ}); снижения себестоимости продукции (ΔC_S^{Σ}); роста производительности труда операторов СЧМ (ΔC_A^{Σ}); ΔC_{Σ}^j – суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, получаемая за счет всех видов экономии по заданному источнику экономии, вызванному внедрением только j -й ЭР, причем $j = \overline{1; N}$; ΔC_{II}^j – суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, получаемая за счет предотвращенного ущерба по заданному источнику экономии, вызванному внедрением j -й ЭР, причем $j = \overline{1; N}$; ΔC_S^j – то же, но за счет снижения себестоимости продукции; ΔC_A^j – то же, но за счет роста производительности труда.

Величины, фигурирующие в формулах (1.9) – (1.16), представляют собой частные показатели второй группы, используемые для оценки экономического эффекта и экономической эффективности рассматриваемого ряда ЭР. Они могут быть



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

разделены на следующие подгруппы в зависимости от их порядка малости:

а) величина ΔC_{Σ} – частный показатель 1-го уровня;

б) величины $\Delta C_{II}^{\Sigma}, \Delta C_S^{\Sigma}, \Delta C_A^{\Sigma}, \Delta C_{\Sigma}^1, \Delta C_{\Sigma}^2, \dots, \Delta C_{\Sigma}^N,$ –

частные показатели 2-го уровня;

в) величины

$\Delta C_{II}^1, \Delta C_{II}^2, \dots, \Delta C_{II}^N; \Delta C_S^1, \Delta C_S^2, \dots, \Delta C_S^N; \Delta C_A^1, \Delta C_A^2, \dots, \Delta C_A^N$

– частные показатели 3-го уровня.

Структура наименований частных показателей 2-го уровня второй группы близка к структуре наименований частных показателей 2-го уровня первой группы. Например, частные

показатели $\Delta C_{\Sigma, 1}$ и ΔC_{Σ}^1 представляют собой суммарную годовую экономию (прямую и косвенную) на текущих затратах за счет всех видов экономии по одному источнику экономии, вызванному внедрением одной ЭР. Однако в первом случае (т.е. при расчете величины $\Delta C_{\Sigma, 1}$ – частного показателя 2-го уровня первой группы) необходимо обеспечить отделение суммарной годовой экономии по данному источнику от экономии по другим источникам, создаваемым той же эргономической разработкой. Во втором случае (при расчете

ΔC_{Σ}^1 – частного показателя 2-го уровня второй группы), наоборот, необходимо обеспечить отделение экономии, получаемой за счет всех ее видов по заданному единственному источнику только при внедрении ЭР-1, от экономии по тому же источнику, но получаемой при внедрении других ЭР рассматриваемого ряда. Следовательно,

порядок расчета величин $\Delta C_{\Sigma, 1}$ и ΔC_{Σ}^1 и сложность процедуры



расчета будут различны.

То же можно сказать по поводу структуры наименований частных показателей 3-го уровня первой и второй групп.

При исследовании конкретных систем эргономического обеспечения не всегда возможна дифференциация годовой экономии за счет заданного источника экономии по эргономическим разработкам, создающим этот источник, и по видам экономии с целью определения конкретных значений частных показателей 3-го уровня. В этом случае можно ограничиться расчетом частных показателей 2-го и 1-го уровней.

Частные показатели 1-го уровня второй группы рассчитываются в соответствии с одним из указанных выше вариантов. Выбор варианта определяется конкретными задачами исследования экономической эффективности СЭОРЭ и возможностями дифференциации получаемой суммарной годовой экономии по ее видам и вызывающей эту экономию эргономическим разработкам. Однако можно утверждать, что более широкое практическое применение получит первый вариант расчета, так как выделить годовую экономию по заданному источнику, обеспечиваемую только за счет одной ЭР из числа совместно внедряемых ЭР и создающих один и тот же источник экономии, значительно сложнее (а иногда и невозможно), чем разделить ее по видам экономии без дифференциации по эргономическим разработкам.

Методика расчета частных показателей второй группы заключается в выполнении следующих операций:

1. анализ задач исследования экономической эффективности внедряемого (при априорной оценке) или уже



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

внедренного (при апостериорной оценке) ряда ЭР (подсистемы СЭОРЭ СЧМ);

2. выявление и анализ прямой и косвенной экономии по заданному источнику экономии, создаваемому при внедрении рассматриваемого ряда ЭР; установление видов экономии по этому источнику;

3. уяснение степени возможной дифференциации суммарной годовой экономии (прямой и косвенной) по ее видам и по вызывающим эту экономию ЭР. Установление перечня частных показателей 3-го и 2-го уровней, конкретные значения которых могут быть определены;

4. выбор одного из двух вариантов расчета частных показателей: путем суммирования годовой экономии по ее видам (первый вариант), путем суммирования годовой экономии, получаемой по заданному источнику экономии отдельно за счет каждой эргономической разработки из числа рассматриваемого ряда ЭР (второй вариант). При необходимости и возможности могут быть использованы оба варианта расчета;

5. выбор или разработка алгоритмов расчета частных показателей;

6. определение конкретных значений исходных данных, необходимых для расчета частных показателей по выбранным (разработанным) алгоритмам;

7. расчет конкретных значений частных показателей.

3. Общая методика расчета частных показателей третьей группы [19]

При расчете частных показателей первой группы предполагается внедрение только одной ЭР (или одной группы



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

родственных ЭР, не разделяемых в ходе исследования на отдельные ЭР), создающей несколько источников экономии. При расчете частных показателей второй группы предполагается наличие только одного источника экономии, создаваемого при внедрении ряда ЭР. Оценка (по частным показателям) экономической эффективности ряда ЭР (подсистемы СЭОРЭ или всей СЭОРЭ, но с разделением в обоих случаях на отдельные ЭР), создающих при внедрении не один, а несколько источников экономии, приводит к необходимости использовать частные показатели первой и второй групп, что обуславливает появление новой, третьей группы частных показателей.

Значение некоторого частного показателя третьей группы, используемого для оценки частного экономического эффекта, а также при определении общих показателей экономической эффективности ряда эргономических разработок, создающих несколько источников экономии, в сущности представляет собой суммарную экономию (прямую и косвенную) на текущих затратах за определенный промежуток времени эксплуатации СЧМ (обычно за расчетный год), полученную по всем источникам экономии и за счет всех ее видов.

Таким образом, для оценки экономической эффективности ряда эргономических разработок, создающих несколько источников экономии, необходимо сначала найти суммарную годовую экономию на текущих затратах (ΔC_{Σ}) по всем источникам экономии и за счет всех видов экономии. Затем по суммарной экономии определяются общие показатели экономического эффекта и эффективности рассматриваемого ряда ЭР.

Порядок расчета суммарной годовой экономии на текущих



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

затратах (ΔC_{Σ}) рассмотрим в общем виде. Пусть при внедрении некоторого ряда эргономических разработок – ЭР-1, ЭР-2, ..., ЭР-N – создается M источников экономии (рис. 1.3) [19], каждый из которых включает либо только косвенную, либо только прямую экономию, либо и ту и другую одновременно. В общем случае по каждому источнику может достигаться экономия за счет: предотвращенного ущерба, снижения себестоимости продукции, прироста объема выпускаемой продукции.

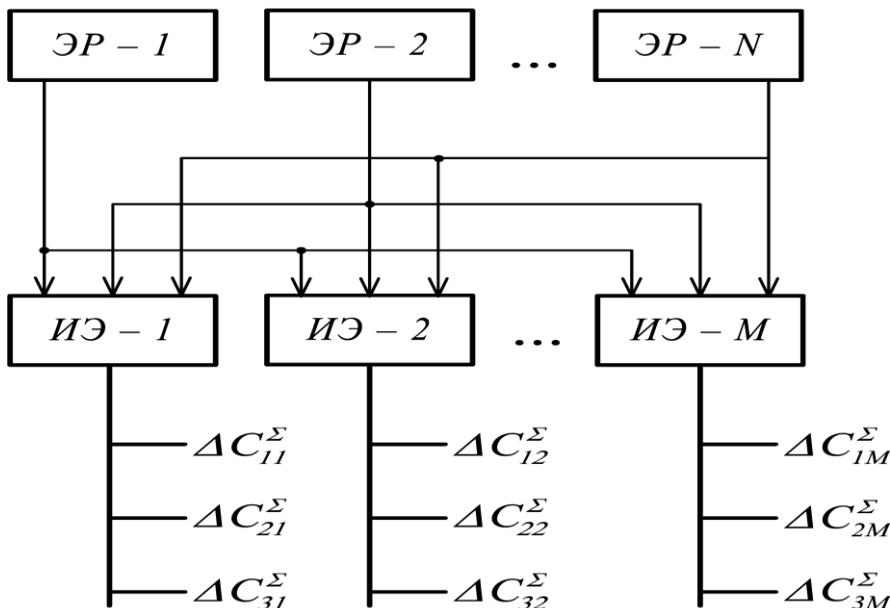


Рис. 1.3. Вариант схемы связи эргономических разработок и источников экономии для расчета частных показателей третьей группы.

Применяемые до сих пор условные обозначения частных показателей первой и второй групп были достаточно просты и удобны. В обозначении частных показателей первой группы указывались номер источника экономии и вид экономии; номер



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

эргономической разработки не указывался, так как рассматривалась единственная ЭР. В обозначении частных показателей второй группы по той же причине не указывался номер источника экономии. В обозначении частных показателей третьей группы необходимо указывать все три признака – номер ЭР, номер ИЭ и номер вида экономии.

С целью унификации и упрощения структуры обозначений частных показателей третьей группы, представляющих ту или иную экономию по нескольким источникам экономии, создаваемым рядом

ЭР, в дальнейшем будем использовать обозначения: $\Delta C_{\xi i}^j$, причем j

– номер эргономической разработки, $j = \overline{1; N}$; i – номер источника

экономии, $i = \overline{1; M}$; ξ – номер вида экономии, $\xi = \overline{1, 3}$; при $\xi = 1$

экономию достигается за счет предотвращенного ущерба, при $\xi = 2$ – за счет снижения себестоимости продукции и при $\xi = 3$ – за счет прироста объема выпускаемой продукции.

Если в обозначении частного показателя вместо j , i или ξ стоит Σ , то это означает, что определяется суммарная годовая экономия за счет: всех внедряемых эргономических разработок (вместо j стоит Σ); по всем источникам экономии (вместо i указан Σ); всех видов экономии (вместо ξ указан Σ).

Например, частный показатель $\Delta C_{\xi \Sigma}^{\Sigma}$ представляет собой суммарную годовую экономию (прямую и косвенную) на текущих затратах за счет ξ -го вида экономии, получаемую по всем источникам экономии в результате внедрения всех рассматриваемых эргономических разработок.



Частный показатель $\Delta C_{\Sigma i}^j$ – это суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах за счет всех видов экономии, получаемая только по i -му источнику экономии и только за счет внедрения j -й ЭР. Частный показатель $\Delta C_{\xi i}^j$ – это годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах за счет ξ -го вида экономии, получаемая только по i -му источнику экономии и только за счет внедрения j -й ЭР, и т.д.

Таким образом, возможны следующие комбинации индексов в обозначении частных показателей: $\Delta C_{\xi i}^j$; $\Delta C_{\xi i}^{\Sigma}$; $\Delta C_{\Sigma i}^j$; $\Delta C_{\xi \Sigma}^j$; $\Delta C_{\xi \Sigma}^{\Sigma}$; $\Delta C_{\Sigma i}^{\Sigma}$; $\Delta C_{\Sigma \Sigma}^j$.

Вместо обозначения $\Delta C_{\Sigma \Sigma}^{\Sigma}$ будем использовать более простое обозначение ΔC_{Σ} .

Расчет суммарной годовой экономии на текущих затратах за счет всех видов экономии по всем источникам экономии, создаваемым при внедрении рассматриваемого ряда ЭР, может производиться в соответствии с двумя основными вариантами.

Первый вариант: суммируется годовая экономия, получаемая отдельно по каждому источнику с учетом всех видов экономии за счет всех внедряемых ЭР (суммирование по вертикали), т.е.

$$\Delta C_{\Sigma} = \Delta C_{\Sigma,1}^{\Sigma} + \Delta C_{\Sigma,2}^{\Sigma} + \dots + \Delta C_{\Sigma,M}^{\Sigma} = \sum_{i=1}^M \Delta C_{\Sigma,i}^{\Sigma}, \quad (1.17)$$

причем



$$\Delta C_{\Sigma,1}^{\Sigma} = \Delta C_{11}^{\Sigma} + \Delta C_{21}^{\Sigma} + \Delta C_{31}^{\Sigma} = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi 1}^{\Sigma} ; \quad (1.18)$$

$$\Delta C_{\Sigma 2}^{\Sigma} = \Delta C_{12}^{\Sigma} + \Delta C_{22}^{\Sigma} + \Delta C_{32}^{\Sigma} = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi 2}^{\Sigma} ; \quad (1.19)$$

$$\Delta C_{\Sigma, M}^{\Sigma} = \Delta C_{1M}^{\Sigma} + \Delta C_{2M}^{\Sigma} + \Delta C_{3M}^{\Sigma} = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi M}^{\Sigma} , \quad (1.20)$$

где $\Delta C_{\Sigma, i}^{\Sigma}$ – суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах за счет всех видов экономии, получаемая только по i -му источнику экономии ($i = \overline{1; M}$), вызванному внедрением всех рассматриваемых ЭР; $\Delta C_{\xi 1}^{\Sigma}$ – суммарная годовая экономия на текущих затратах за счет ξ -го вида экономии ($\xi = 1; 2; 3$), получаемая только по ИЭ-1, вызванному внедрением всех ЭР; $\Delta C_{\xi 2}^{\Sigma}$ – то же, но по ИЭ-2; $\Delta C_{\xi M}^{\Sigma}$ – то же, но по ИЭ-М.

Второй вариант: отдельно по каждому виду экономии суммируется годовая экономия, получаемая по всем источникам экономии, вызванным внедрением всех рассматриваемых ЭР (суммирование по горизонтали), т.е.

$$\Delta C_{\Sigma} = \Delta C_{1\Sigma}^{\Sigma} + \Delta C_{2\Sigma}^{\Sigma} + \Delta C_{3\Sigma}^{\Sigma} = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi \Sigma}^{\Sigma} , \quad (1.21)$$

причем

$$\Delta C_{1\Sigma}^{\Sigma} = \Delta C_{11}^{\Sigma} + \Delta C_{12}^{\Sigma} + \dots + \Delta C_{1M}^{\Sigma} = \sum_{i=1}^M \Delta C_{1i}^{\Sigma} ; \quad (1.22)$$

$$\Delta C_{2\Sigma}^{\Sigma} = \Delta C_{21}^{\Sigma} + \Delta C_{22}^{\Sigma} + \dots + \Delta C_{2M}^{\Sigma} = \sum_{i=1}^M \Delta C_{2i}^{\Sigma} ; \quad (1.23)$$

$$\Delta C_{3\Sigma}^{\Sigma} = \Delta C_{31}^{\Sigma} + \Delta C_{32}^{\Sigma} + \dots + \Delta C_{3M}^{\Sigma} = \sum_{i=1}^M \Delta C_{3i}^{\Sigma} ; \quad (1.24)$$

где $\Delta C_{\xi\Sigma}^{\Sigma}$ – суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах только за счет ξ -го вида экономии ($\xi = 1; 2; 3$), получаемая по всем источникам экономии, вызванным внедрением всех ЭР; ΔC_{1i}^{Σ} – суммарная годовая экономия на текущих затратах, получаемая за счет предотвращения ущерба ($\xi = 1$) по i -му источнику экономии ($i = \overline{1; M}$), вызванному внедрением всех ЭР; ΔC_{2i}^{Σ} – то же, но за счет снижения себестоимости продукции ($\xi = 2$); ΔC_{3i}^{Σ} – то же, но за счет роста производительности труда операторов СЧМ ($\xi = 3$), обусловленного внедрением всех рассматриваемых ЭР.

В формулах (1.18) – (1.20) и (1.22) – (1.24) для слагаемых правых частей можно дать следующую детализацию:

$$\Delta C_{11}^{\Sigma} = \Delta C_{11}^1 + \Delta C_{11}^2 + \dots + \Delta C_{11}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{11}^j ; \quad (1.25)$$

$$\Delta C_{21}^{\Sigma} = \Delta C_{21}^1 + \Delta C_{21}^2 + \dots + \Delta C_{21}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{21}^j ; \quad (1.26)$$

$$\Delta C_{31}^{\Sigma} = \Delta C_{31}^1 + \Delta C_{31}^2 + \dots + \Delta C_{31}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{31}^j ; \quad (1.27)$$

$$\Delta C_{12}^{\Sigma} = \Delta C_{12}^1 + \Delta C_{12}^2 + \dots + \Delta C_{12}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{12}^j ; \quad (1.28)$$

$$\Delta C_{22}^{\Sigma} = \Delta C_{22}^1 + \Delta C_{22}^2 + \dots + \Delta C_{22}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{22}^j ; \quad (1.29)$$

$$\Delta C_{32}^{\Sigma} = \Delta C_{32}^1 + \Delta C_{32}^2 + \dots + \Delta C_{32}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{32}^j ; \quad (1.30)$$

$$\Delta C_{1M}^{\Sigma} = \Delta C_{1M}^1 + \Delta C_{1M}^2 + \dots + \Delta C_{1M}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{1M}^j ; \quad (1.31)$$

$$\Delta C_{2M}^{\Sigma} = \Delta C_{2M}^1 + \Delta C_{2M}^2 + \dots + \Delta C_{2M}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{2M}^j ; \quad (1.32)$$

$$\Delta C_{3M}^{\Sigma} = \Delta C_{3M}^1 + \Delta C_{3M}^2 + \dots + \Delta C_{3M}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{3M}^j ; \quad (1.33)$$

где ΔC_{11}^j – годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, получаемая за счет предотвращенного ущерба ($\xi = 1$) по ИЭ-1, вызванному внедрением j -й эргономической разработки, причем $j = \overline{1, N}$; ΔC_{21}^j – то же, но за счет снижения

себестоимости продукции ($\xi = 2$); ΔC_{31}^j – то же, но за счет роста производительности труда ($\xi = 3$), обусловленного внедрением j -й ЭР, причем $j = \overline{1, N}$; ΔC_{12}^j – годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, получаемая за счет предотвращенного ущерба ($\xi = 1$) по ИЭ-2, вызванному внедрением j -й ЭР, причем $j = \overline{1, N}$; ΔC_{22}^j – то же, но за счет снижения себестоимости продукции ($\xi = 2$); ΔC_{32}^j – то же, но за счет роста производительности труда ($\xi = 3$), обусловленного внедрением j -й ЭР; ΔC_{1M}^j – годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, получаемая за счет предотвращенного ущерба ($\xi = 1$) по ИЭ-М, вызванному внедрением j -й ЭР; ΔC_{2M}^j – то же, но за счет снижения себестоимости продукции ($\xi = 2$); ΔC_{3M}^j – то же, но за счет производительности труда ($\xi = 3$), обусловленного внедрением j -й ЭР.

Очевидно, что такой детализацией годовой экономии на текущих затратах при необходимости можно воспользоваться лишь в случае, когда имеется возможность одновременно выделить экономию сразу по трем признакам – по ее видам, источникам и внедряемым ЭР. Наибольшие трудности возникают при делении годовой экономии по внедряемым ЭР. Если эти трудности преодолены, то, кроме основных первого и второго вариантов расчета величины ΔC_{Σ} , когда осуществляется деление суммарной годовой экономии соответственно по источникам экономии [формула



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

1.17] и по видам экономии [формула 1.21], можно воспользоваться третьим, дополнительным вариантов расчета.

Третий вариант (вариант 3а): суммируется годовая экономия по всем источникам экономии и по всем ее видам, получаемая отдельно за счет каждой внедряемой эргономической разработки из числа рассматриваемого ряда ЭР (деление суммарной годовой экономии по ЭР), т.е.

$$\Delta C_{\Sigma} = \Delta C_{\Sigma\Sigma}^1 + \Delta C_{\Sigma\Sigma}^2 + \dots + \Delta C_{\Sigma\Sigma}^N = \sum_{j=1}^N \Delta C_{\Sigma\Sigma}^j, \quad (1.34)$$

причем

$$\Delta C_{\Sigma\Sigma}^1 = \Delta C_{\Sigma,1}^1 + \Delta C_{\Sigma,2}^1 + \dots + \Delta C_{\Sigma,M}^1 = \sum_{i=1}^M \Delta C_{\Sigma,i}^1; \quad (1.35)$$

$$\Delta C_{\Sigma\Sigma}^2 = \Delta C_{\Sigma,1}^2 + \Delta C_{\Sigma,2}^2 + \dots + \Delta C_{\Sigma,M}^2 = \sum_{i=1}^M \Delta C_{\Sigma,i}^2; \quad (1.36)$$

$$\Delta C_{\Sigma\Sigma}^N = \Delta C_{\Sigma,1}^N + \Delta C_{\Sigma,2}^N + \dots + \Delta C_{\Sigma,M}^N = \sum_{i=1}^M \Delta C_{\Sigma,i}^N. \quad (1.37)$$

В свою очередь

$$\Delta C_{\Sigma,1}^1 = \Delta C_{11}^1 + \Delta C_{21}^1 + \Delta C_{31}^1 = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi 1}^1; \quad (1.38)$$

$$\Delta C_{\Sigma,2}^1 = \Delta C_{12}^1 + \Delta C_{22}^1 + \Delta C_{32}^1 = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi 2}^1; \quad (1.39)$$

$$\Delta C_{\Sigma,M}^1 = \Delta C_{1M}^1 + \Delta C_{2M}^1 + \Delta C_{3M}^1 = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi M}^1; \quad (1.40)$$



$$\Delta C_{\Sigma,1}^2 = \Delta C_{11}^2 + \Delta C_{21}^2 + \Delta C_{31}^2 = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi 1}^2 ; \quad (1.41)$$

$$\Delta C_{\Sigma,2}^2 = \Delta C_{12}^2 + \Delta C_{22}^2 + \Delta C_{32}^2 = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi 2}^2 ; \quad (1.42)$$

$$\Delta C_{\Sigma,M}^2 = \Delta C_{1M}^2 + \Delta C_{2M}^2 + \Delta C_{3M}^2 = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi M}^2 ; \quad (1.43)$$

$$\Delta C_{\Sigma,1}^N = \Delta C_{11}^N + \Delta C_{21}^N + \Delta C_{31}^N = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi 1}^N ; \quad (1.44)$$

$$\Delta C_{\Sigma,2}^N = \Delta C_{12}^N + \Delta C_{22}^N + \Delta C_{32}^N = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi 2}^N ; \quad (1.45)$$

$$\Delta C_{\Sigma,M}^N = \Delta C_{1M}^N + \Delta C_{2M}^N + \Delta C_{3M}^N = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi M}^N ; \quad (1.46)$$

где $\Delta C_{\Sigma\Sigma}^j$ – суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах по всем источникам экономии и по всем ее видам, получаемая только за счет внедрения j -й ЭР, причем $j = \overline{1, N}$; $\Delta C_{\Sigma,i}^1, \Delta C_{\Sigma,i}^2, \dots, \Delta C_{\Sigma,i}^N$ – суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, получаемая за счет всех видов экономии по i -му источнику экономии ($i = \overline{1; M}$), вызванному внедрением соответственно ЭР-1, ЭР-2, ..., ЭР-N; $\Delta C_{\xi 1}^1$,

$\Delta C_{\xi 2}^1, \dots, \Delta C_{\xi M}^1$ – годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, полученная за счет ξ -го вида экономии ($\xi = 1; 2; 3$) соответственно по ИЭ-1, ИЭ-2, ..., ИЭ-М, вызванным внедрением

ЭР-1; $\Delta C_{\xi 1}^2, \Delta C_{\xi 2}^2, \dots, \Delta C_{\xi M}^2$ – то же, но при внедрении ЭР-2;

$\Delta C_{\xi 1}^N, \Delta C_{\xi 2}^N, \dots, \Delta C_{\xi M}^N$ – то же, но при внедрении ЭР-N.

В рассмотренной модификации третьего варианта расчета суммарной годовой экономии (вариант 3а) определение величины

$\Delta C_{\Sigma \Sigma}^j (j = \overline{1, N})$ для каждой эргономической разработки осуществляется путем суммирования годовой экономии, получаемой отдельно за счет каждого вида экономии, но по всем источникам экономии, создаваемым при внедрении данной ЭР. Это суммирование по горизонтали (по видам экономии) для каждой ЭР.

Следовательно, в соответствии с вариантов 3б имеем:

$$\Delta C_{\Sigma \Sigma}^1 = \Delta C_{1\Sigma}^1 + \Delta C_{2\Sigma}^1 + \Delta C_{3\Sigma}^1 = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi \Sigma}^1 ; \quad (1.47)$$

$$\Delta C_{\Sigma \Sigma}^2 = \Delta C_{1\Sigma}^2 + \Delta C_{2\Sigma}^2 + \Delta C_{3\Sigma}^2 = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi \Sigma}^2 ; \quad (1.48)$$

$$\Delta C_{\Sigma \Sigma}^N = \Delta C_{1\Sigma}^N + \Delta C_{2\Sigma}^N + \Delta C_{3\Sigma}^N = \sum_{\xi=1}^3 \Delta C_{\xi \Sigma}^N , \quad (1.49)$$

причем

$$\Delta C_{1\Sigma}^1 = \Delta C_{11}^1 + \Delta C_{12}^1 + \dots + \Delta C_{1M}^1 = \sum_{i=1}^M \Delta C_{1i}^1 ; \quad (1.50)$$

$$\Delta C_{2\Sigma}^1 = \Delta C_{21}^1 + \Delta C_{22}^1 + \dots + \Delta C_{2M}^1 = \sum_{i=1}^M \Delta C_{2i}^1 ; \quad (1.51)$$

$$\Delta C_{3\Sigma}^1 = \Delta C_{31}^1 + \Delta C_{32}^1 + \dots + \Delta C_{3M}^1 = \sum_{i=1}^M \Delta C_{3i}^1 ; \quad (1.52)$$

$$\Delta C_{1\Sigma}^2 = \Delta C_{11}^2 + \Delta C_{12}^2 + \dots + \Delta C_{1M}^2 = \sum_{i=1}^M \Delta C_{1i}^2 ; \quad (1.53)$$

$$\Delta C_{2\Sigma}^2 = \Delta C_{21}^2 + \Delta C_{22}^2 + \dots + \Delta C_{2M}^2 = \sum_{i=1}^M \Delta C_{2i}^2 ; \quad (1.54)$$

$$\Delta C_{3\Sigma}^2 = \Delta C_{31}^2 + \Delta C_{32}^2 + \dots + \Delta C_{3M}^2 = \sum_{i=1}^M \Delta C_{3i}^2 ; \quad (1.55)$$

$$\Delta C_{1\Sigma}^N = \Delta C_{11}^N + \Delta C_{12}^N + \dots + \Delta C_{1M}^N = \sum_{i=1}^M \Delta C_{1i}^N ; \quad (1.56)$$

$$\Delta C_{2\Sigma}^N = \Delta C_{21}^N + \Delta C_{22}^N + \dots + \Delta C_{2M}^N = \sum_{i=1}^M \Delta C_{2i}^N ; \quad (1.57)$$

$$\Delta C_{3\Sigma}^N = \Delta C_{31}^N + \Delta C_{32}^N + \dots + \Delta C_{3M}^N = \sum_{i=1}^M \Delta C_{3i}^N ; \quad (1.58)$$

где $\Delta C_{\xi\Sigma}^1$, $\Delta C_{\xi\Sigma}^2$, ..., $\Delta C_{\xi\Sigma}^N$ – суммарная годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, получаемая за счет ξ -го вида экономии ($\xi = 1; 2; 3$) по всем источникам экономии, вызванным внедрением соответственно ЭР-1, ЭР-2, ..., ЭР-N; ΔC_{1i}^1 ,



$\Delta C_{2i}^1, \Delta C_{3i}^1$ – годовая экономия (прямая и косвенная) на текущих затратах, получаемая по i -му источнику экономии ($i = \overline{1; M}$), вызванному внедрением ЭР-1, за счет соответственно предотвращенного ущерба ($\xi = 1$), снижения себестоимости продукции ($\xi = 2$), роста производительности труда ($\xi = 3$); $\Delta C_{1i}^2, \Delta C_{2i}^2, \Delta C_{3i}^2$ – то же, но при внедрении ЭР-2; $\Delta C_{1i}^N, \Delta C_{2i}^N, \Delta C_{3i}^N$ – то же, но при внедрении ЭР-N.

Величины, фигурирующие во всех вариантах расчета суммарной годовой экономии, представляют собой частные показатели третьей группы. Они могут быть использованы для оценки частного экономического эффекта при исследовании ряда эргономических разработок, внедрение которых вызывает появление нескольких источников экономии. В зависимости от их порядка малости они могут быть разделены на следующие уровни:

а) величина ΔC_{Σ} – частный показатель 1-го уровня;

б) величины $\Delta C_{\Sigma, i}^{\Sigma}, \Delta C_{\xi \Sigma}^{\Sigma}, \Delta C_{\Sigma \Sigma}^j$, где $i = \overline{1; M}; \xi = \overline{1; 3};$

$j = \overline{1; N}$, – частные показатели 2-го уровня;

в) величины $\Delta C_{\xi i}^{\Sigma}, \Delta C_{\Sigma i}^j, \Delta C_{\xi \Sigma}^j$, где $i = \overline{1; M}; \xi = \overline{1; 3};$

$j = \overline{1; N}$, – частные показатели 3-го уровня;

г) величины $\Delta C_{\xi i}^j$, где $i = \overline{1; M}; \xi = \overline{1; 3}; j = \overline{1; N}$, – частный показатель 4-го уровня.



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

Для частных показателей 2-го уровня характерным является то, что из трех признаков (число: ЭР, ИЭ, видов экономии), по которым осуществляется оценка годовой экономии, только один принимается в единственном числе, а по остальным рассчитывается суммарная экономия. При расчете частных показателей 3-го уровня только по одному признаку определяется суммарная экономия, а при расчете частного показателя 4-го уровня все признаки принимаются в единственном числе, т.е. расчет годовой экономии осуществляется за счет какого-то одного вида экономии по одному источнику экономии, создаваемому какой-то одной внедряемой эргономической разработкой.

Очевидно, что чем ниже уровень частных показателей, т.е. чем больше номер этого уровня, тем сложнее определить их конкретные значения, так как требуется более глубокая дифференциация годовой экономии по указанным признакам. Если при исследовании конкретных систем эргономического обеспечения не удастся провести дифференциацию годовой экономии по всем трем признакам, необходимо ограничиться расчетом тех частных показателей, для которых имеются достоверные исходные данные.

Конкретные значения частных показателей третьей группы рассчитываются в соответствии с одним из рассмотренных вариантов. Выбор варианта зависит от задач исследования экономической эффективности системы эргономического обеспечения СЧМ и от возможностей дифференциации получаемой за счет СЭОРЭ годовой экономии по ее видам, источникам экономии и эргономическим разработкам.

Методику расчета частных показателей третьей группы составляет следующий перечень операций:



Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды

1. анализ задач исследования экономической эффективности внедряемого (при априорной оценке) или уже внедренного (при апостериорной оценке) ряда эргономических разработок (подсистемы СЭРОЭ СЧМ, системы эргономического обеспечения);
2. выявление и анализ прямой и косвенной экономии по каждому источнику, создаваемому при внедрении рассматриваемого ряда эргономических разработок;
3. уяснение степени возможной дифференциации получаемой годовой экономии (прямой и косвенной) по ее видам, источникам и эргономическим разработкам, установление перечня частных показателей, для определения конкретных значений которых имеются достоверные исходные данные;
4. выбор варианта расчета частных показателей;
5. выбор или разработка алгоритмов расчета частных показателей;
6. определение конкретных значений исходных данных, необходимых для расчета частных показателей по выбранным или разработанным алгоритмам;
7. расчет конкретных значений частных показателей.

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 Freiburger, 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.