Владимир Бадалов

# ПРОСТО ЭРГОНОМИКА

ПРОСТО

УДК 331.101.1
ББК 30.17
Б15

Рецензент — доктор технических наук,
профессор СПбПУ *В. А. Дьяченко*

Бадалов В. В.
Б15 Просто эргономика / Владимир Бадалов. — СПб.: Страта, 2019. — 110 с., с илл. — (серия «Просто»)

ISBN 978-5-907127-40-1

Эргономика прочно вошла в нашу жизнь и продолжает развиваться. В работе собраны и обобщены современные представления в области эргономики. Рассмотрены психофизиологические особенности человека, основы проектирования рабочей зоны оператора, математические методы моделирования деятельности человека, вопросы надежности персонала, применения САПР на примере модуля Human Builder.

Книга предназначена для широкого круга читателей и специалистов.

Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельцев.

All rights reserved. No parts of this publication can be reproduced, sold or transmitted by any means without permission of the publisher.

УДК 331.101.1
ББК 30.17

© Бадалов В. В., текст, 2012
© ООО «Страта», оформление, 2019

ISBN 978-5-907127-40-1

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....5
**1. История эргономики** .....6
**2. Основные понятия эргономики** .....9
**3. Задачи эргономики**.....11
**4. Человек в эргатической системе** .....13
4.1. Анализаторы человека и их характеристики .....13
4.1.1. Зрительный анализатор.....16
4.1.2. Слуховой анализатор.....21
4.1.3. Тактильная чувствительность .....24
4.1.4. Температурный анализатор.....25
4.1.5. Обоняние. Вкус.....26
4.1.6. Вибрационная чувствительность.....26
4.1.7. Болевой анализатор.....27
4.2. Моторная сфера оператора .....27
4.2.1. Антропометрические данные человека .....31
4.2.2. Рабочая зона оператора.....33
**5. Эргономические требования при проектировании рабочего места оператора** .....39
5.1. Микроклимат.....39
5.2. Рабочее кресло .....40
5.3. Рычаги .....41
5.4. Педали.....43
5.5. Органы управления .....45
5.6. Кабина.....47
5.7. Сигнальные и световые устройства .....50
5.8. Обзорность.....51
**6. Системы доступа к рабочим местам и местам обслуживания**.....53
6.1. Площадки, проходы, лестницы .....53
6.2. Поручни, перила.....54
6.3. Двери, проёмы, люки .....54
6.4. Общие требования безопасности .....55
6.5. Защитные ограждения.....57

6.6. Системы защиты от падающих предметов и опрокидывания ... 58

**7. Методы математического моделирования деятельности человека в эргатических системах** ..... 59

7.1. Методы теории автоматического регулирования в исследованиях эргатических систем (ЭС) ..... 59

7.2. Информационная модель деятельности человека в ЭС ..... 63

7.3. Методы теории массового обслуживания в исследовании и проектировании ЭС ..... 67

7.4. Описание и анализ деятельности человека на уровне операций ..... 70

7.5. Алгоритмический метод ..... 73

**8. Надежность персонала в транспортных системах** ..... 75

**9. САПР в эргономике** ..... 84

9.1. Система CATIA ..... 84

9.2 Модуль Human Builder javascript:openViewer(‘images/doc/intro1.jpg’) ..... 85

**10. Основные законы эргономики** ..... 96

ЛИТЕРАТУРА ..... 97

Приложение ..... 98

## 1. ИСТОРИЯ ЭРГОНОМИКИ

Научное изучение трудовой деятельности человека связывают с именем американского инженера Ф. Тейлора и его учеников. В результате их исследований была создана и внедрена в производство концепция инженерного проектирования ЧМС и положено начало эргономике. Дальнейшее развитие производства вызвало необходимость учета психофизиологической стороны процесса труда. Были исследованы психологические свойства человека в процессе труда (восприятие, память, мышление, внимание и др.), разработаны некоторые психодиагностические методы отбора рабочей силы для реализации определенных трудовых процессов.

В конце XIX и в начале XX веков в промышленно развитых странах мира (США, Англии, Германии, Японии и др.) организуются специальные лаборатории, кафедры и институты, изучающие влияние трудовых процессов и производственной среды на организм человека. В это время бурно развивались психология, физиология, гигиена труда, дизайн. В1915 г. в Англии создан Комитет по изучению здоровья рабочих, в 1921 г. в США – Психологическая корпорация. В этом же году Бехтеревым В.М. организована первая Всероссийская конференция по научной организации труда. В Японии издана книга «Человеческая инженерия».

К 40-м годам прошлого столетия результаты исследований во многих областях техники, физиологии, биологии, психологии и других наук были успешно использованные для создания оружия и сложной военной техники, в которой эффективность человекомашинной системы (ЧМС) была ограничена возможностями человека, а не машины. В системе человек оказался на грани своих психофизиологических возможностей. К решению проблем потребовалось привлечение специалистов различного профиля: инженеров, медиков и психологов.

После Второй мировой войны начались работы по обобщению достигнутого опыта и применению его к решению широкого круга

технических проблем. Важным шагом в этом направлении было образование группой английских ученых во главе с К. Мареллом в 1949 г. в Англии Эргономического научно-исследовательского общества. Так возникло объединение ученых смежных научных дисциплин для совместной работы по проектированию эффективной трудовой деятельности человека. Для обозначения новой научной области был использован термин “эргономика”, впервые предложенный еще в 1857 г. польским естествоиспытателем Войцехом Ястшембовским, опубликовавшим работу “Очерки по эргономии или науке о труде, основанной на закономерностях науки о природе”

В 1955 г. бельгийский профессор Ж. Фаворж опубликовал одну из первых фундаментальных работ по эргономике «Анализ труда». В 1958 г. вышел первый номер журнала «Человеческие факторы» (США), 1960 г – в Англии создан факультет эргономики. В 1961г. создана Международная эргономическая ассоциация.

В нашей стране эргономика как самостоятельная научная дисциплина начала развиваться в 50-е годы прошлого столетия. В 1959 г. Ленинградском университете создана лаборатория, а в 1966 г. кафедра инженерной психологии. В 1963 г. вышла книга Ломова Б.Ф. «Человек и техника». В 1972 году в Москве была проведена Международная конференция ученых и специалистов стран – членов СЭВ по вопросам эргономики, способствовавшая дальнейшему развитию и координации научных исследований и практическому внедрению их результатов в сферу производства. В 1992 году Россия была принята в Международную эргономическую ассоциацию.

Координацию работ в СССР в области эргономики осуществлял Всероссийский научно-исследовательский институт технической эстетики (ВНИИТЭ), созданный в 1962 г.

Причины возникновения и развития эргономики:

– человек все чаще находится на грани своих психофизиологических возможностей,

– человек все больше удаляется от управляемого объекта,

– человек управляет все большим количеством объектов,

– возрастают требования к быстродействию человека,

– нарушаются привычные условия труда (космос, ЧС)

– возрастает степень ответственности функционирования человека в системе. Примером тому знаменитое Великое затмение США – 9 января 1965 г. одна из пяти линий электропередач единой энергосистемы США вышла из строя. Остальные 4 не выдержали перегрузки и отключились. В результате:

– 17 час 21 мин – погас свет в Бостоне

– 17 час 28 мин – без света остался Нью-Йорк и еще 8 штатов: 600 тыс. пассажиров застряли в метро, тысячи в лифтах, остановились фабрики, заводы, отключились газ, радио и т.д. Восстановили электроснабжение 10 января в 7 часов утра. «Великое затмение США» обошлось в 1,5 мрд. долларов. В нашей стране – Чернобыльская авария.

– деятельность человека в системе носит все более творческий характер.

Но как оказалось человек:

– медленно думает (анг. ученый считал число $\pi$ до 707 знака 15 лет),

– часто ошибается,

– плохо и мало запоминает,

– быстро устает.

Однако пока человека в ЧМС не заменить:

– часть функций он выполняет лучше машины (распознавание, неординарные решения, накопление опыта, обнаружение сигналов с низким уровнем шума). Тренированный текстильщик различает до 100 оттенков черного цвета

– надежность системы при наличии человека выше. В США для проверки надежности автоматизированной космической системы ее многократно дублировали, а в одном случае управление доверили человеку. На четвертый день имитированного полета наметились расхождения. К концу 14 суток надежность систем с 2,3,4 –кратным дублированием не отвечала требованиям, с 5-кратным дублированием была недостаточно высокой. Надежность системы с космонавтом оказалась значительно выше

– кто-то должен нести экономическую и юридическую ответственность за результаты деятельности

– наличие человека в системе значительно экономичнее.

На одной из фирм США для автоматизированной системы не хватало одного «пустякового устройства», обеспечивающего надежную работу системы. На совещании молодой инженер предлагает требуемое кибернетическое устройство. «Вес конструкции?» – «Килограммов 80» – «Отлично. Потребляемая мощность» – «Ватт 600» – «Чудесно. Время отладки» – «Месяцев 5-6» – «Что это за чудо!» – **«Человек!»**

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЭРГОНОМИКИ

В ходе своего исторического развития эргономика сформировалась и оформилась как наука и как любая наука характеризуется:

- объектом и предметом изучения
- принципами, положенными в основу научных исследований
- задачами, стоящими перед наукой
- методами исследования и решения поставленных задач.

В то же время основная терминология, используемая в эргономике, широко использует термины смежных дисциплин: физиологии, психологии, анатомии, системотехники и др.

Эргатическая система (гр. εργτησ – эргатус, рабочий человек) – техническая система, обязательным элементом которой является человек (рис. 1).

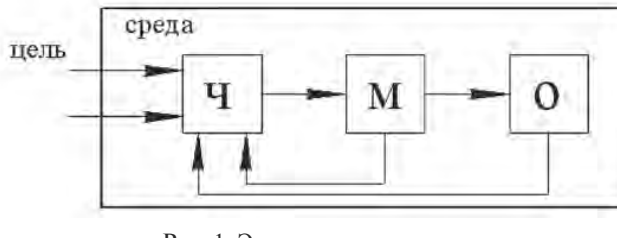


Рис. 1. Эргатическая система
Ч – человек, М– машина, О – объект воздействия

Классификация эргатических систем (ЭС):

– по целевому назначению – управление, контроль, обслуживание, разработка и проектирование, производство и т. д.

– по функциональному признаку – детерминированные, недетерминированные

– по иерархическому (иерархия – порядок подчинения) признаку – деление на системы первого, второго и более высокого уровня управления

– по количеству операторов в звеньях – моноэргатические, полиэргатические

– по виду деятельности – сенсорная (сфера восприятия), моторная (исполнительные действия), принятие решения.

– по характеру переработки информации – дедуктивная деятельность (образование выходного сигнала по известному входному сигналу и правилам его преобразования), абдуктивная деятельность (по заданному следствию и известному правилу найти причину, входное воздействие – по точке на экране опознать объект), индуктивная, эврестическая деятельность (для ряда причин нужно найти руководящее решение).

**Оператор** – любой человек, управляющий машиной в механизированных и автоматизированных системах. Различают пять классов операторской деятельности:

оператор-технолог, оператор-манипулятор, оператор-наблюдатель, контролер, оператор-исследователь, оператор-руководитель

**Машина** – любое техническое устройство, предназначенное для целенаправленного изменения материи, энергии или информации. Римский инженер Марк Витрувий Поллион (вторая половина первого столетия до нашей эры) определил машину как «деревянное приспособление, оказывающее величайшие услуги при подъеме грузов».

По фунциональному назначению различают машины:

– энергетические

– рабочие

– информационные

**Среда** – внешние факторы, оказывающие влияние на работу оператора и машины. Под ними понимают не только температуру, влажность, газовый состав воздуха, шум, вибрацию, но и социально-психологические факторы, команды и пояснения руководителей работ, различные правила, инструкции и т.д.

**Система** – совокупность элементов, обладающих интерактивными свойствами. В эргономике в качестве элементов системы рассматриваются человек, машина и среда.

**Ошибка оператора** – любое действие (или бездействие) человека, мешающее успешной работе ЧМС. Ошибки вызываются не только безответственностью, рассеянностью или низкой квалификацией работника, но и тем, что безошибочные действия в определенных ситуациях оказываются за пределами физических и психических возможностей человека.

## 3. ЗАДАЧИ ЭРГОНОМИКИ

Эргономика (др. греч. εργον – работа, νόμος – закон, гр. érgon + nómos) – наука, изучающая эргатические системы.

Эргономика – это научная дисциплина, комплексно изучающая человека (группу людей) в конкретных условиях его (их) трудовой деятельности, связанной с использованием машин или механизмов с целью повышения эффективности функционирования таких систем путем оптимизации средств, условий и процесса труда.

Более широкое определение эргономики, принятое в 2010 году Международной Ассоциацией Эргономики (IEA),: «Научная дисциплина, изучающая взаимодействие человека и других элементов системы, а также сфера деятельности по применению теории, принципов, данных и методов этой науки для обеспечения благополучия человека и оптимизации общей производительности системы»

Эргономика рассматривает технический и человеческий аспекты в неразрывной связи. Сочетание способностей человека и возможностей машины существенно повышает эффективность

функционирования ЧМС. Поэтому решение прикладных проблем эргономики предполагает движение одновременно в двух направлениях – от требований человека к машине и условиям ее функционирования и, наоборот – от требований машины и условий ее функционирования к человеку. Тем самым эргономика решает задачи рациональной организации деятельности людей в ЧМС, целесообразного распределения функций между человеком и машиной.

Эргономика изучает определенные свойства системы ЧМС, которые получили название человеческих факторов. Они представляют собой интегральные характеристики связи человека и машины, проявляющиеся в конкретных условиях их взаимодействия при функционировании системы.

Знание человеческих факторов позволяет формулировать требования к профессиональному отбору и обучению персонала, техническим средствам подготовки, согласованию внешних средств трудовой деятельности и способов ее осуществления.

Человеческие факторы всесторонне проявляются и фиксируются в такой целостной эргономической характеристике ЧМС как эргономичность.

Одной из важнейших задач эргономики является оптимизация условий труда, для чего изучаются возможности и особенности различных категорий индивидов с целью учета полученных результатов при проектировании оборудования рабочих мест. В том числе эргономика приобретает все большее значение и в решении комплексной проблемы реабилитации лиц, в той или иной мере утративших работоспособность.

С этой же целью в эргономике изучаются психофизические возможности и особенности людей пожилого возраста. Таким образом, эргономика создает научную базу для решения важной социальной проблемы по вовлечению в производительный труд указанной части населения.

Эргономика призвана решать ряд проблем, связанных с оценкой точности, надежности и стабильности работы, влияния психической напряженности, утомления, эмоциональных факторов

и особенностей нервно-психической организации оператора на эффективность его деятельности в ЧМС.

Задачи эргономики:

– исследование характеристик человека как элемента эргатической системы (ЭС): восприятие информации, память, принятие решения, мотивация, движение, стресс, утомляемость и т.д.

– рациональное распределение функций между человеком и машиной

– проектирование системы с учетом конкретных условий эксплуатации

– проектирование средств взаимодействия человека с машиной (визуальные и слуховые индикаторы, органы управления, инструменты и приборы)

– профотбор, тренировка человека для работы в ЭС

Эргономика занимается комплексным изучением и проектированием трудовой деятельности. Эргономика включает в себя результаты исследований многих отраслей знаний (инженерная психология, физиология труда, гигиена труда, социология, дизайн и др.), но не является их простой суммой.

Эргономика является самым древним видом систем, созданных человеком и возраст их равен возрасту человека. При этом теория ЭС менее развита, чем теория автоматических систем. Объясняется это трудностью формализации понятий и терминов элементов ЭС и прежде всего к основному ее элементу – человеку.

# 4. ЧЕЛОВЕК В ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

## *4.1. Анализаторы человека и их характеристики*

В эргономике принято различать две сферы деятельности:

– сенсорная. Все, что позволяет человеку воспринимать информацию об окружающем мире и функционировании объекта управления или наблюдения.

– моторная. Все, что позволяет человеку воздействовать на объект или окружающий мир.

Сенсорную сферу деятельности составляют анализаторы, приборы и устройства, отображающие информацию о функционировании системы.

Различают 4 основных этапа переработки информации:

– поиск и опознание сигнала

– восприятие

– идентификация

– принятие решения

Анализаторы – первичные органы, осуществляющие прием, анализ раздражений. Любой анализатор (А) состоит из трех основных частей:

– рецептор

– нервные пути

– мозговой центр

Основная функция рецептора (кодирующее устройство) – превращение энергии раздражителя в нервный процесс. Вход рецептора приспособлен к приему только определенных видов воздействий (свет, звук). На выходе сигналы едины для любого входа нервной системы. Между рецептором и мозговыми центрами существует не только прямая, но и обратная связь. Поэтому рецептор осуществляет еще и декодирование сигнала.

Назначение мозговых центров – накопление, хранение, переработка информации.

Особенность мозговых центров – бирецептия (парность). Это повышает надежность, пропускную способность и пространственное различие сигнала.

Основные характеристики анализатора:

– чувствительность

– избирательность

– адаптивность

Диапазон чувствительности – интервал между min и max адекватно ощутимой величиной сигнала (верхний и нижний абсо-

лютные пороги). С помощью А человек может различать сигналы по их интенсивности – дифференциальный порог, под которым понимается минимально различимый сигнал, вызывающий едва заметное различие ощущений. Таким образом:

– абсолютные пороги – шкала анализатора

– дифференциальные пороги – цена деления шкалы

Существует еще оперативный порог, характеризующий оптимальную различимость сигнала, который в 10–15 раз больше дифференциального.

Кроме энергетических порогов существуют пространственные и временные пороги. Временной порог – время воздействия сигнала для возникновения ощущений. Пространственный – размер сигнала, площадь воздействия, а также взаимное расположение анализаторов и сигнала.

Энергетические, временные и пространственные пороги находятся в тесном взаимодействии и всегда выступают в единстве.

Избирательность анализатора заключается в его способности из множества раздражителей, действующих на человека, в каждый момент времени в зависимости от условий фиксироваться на определенных раздражителях. Она является условием формирования адекватных ощущений и обеспечивает высокую помехоустойчивость анализатора. Избирательность может быть амплитудной, пространственной, временной.

Анализатор является самонастраивающейся системой. Это свойство анализатора называется адаптацией, которое проявляется в изменении диапазона чувствительности в соответствии с условиями работы анализатора. В процессе адаптации изменяются как энергетические, так и временные, пространственные пороги. Адаптация характеризуется величиной изменения чувствительности и времени, в течение которого оно осуществляется.

По современным представлениям человек воспринимает информацию о внешнем мире по 11 каналам с соответствующими анализаторами.

### *4.1.1. Зрительный анализатор*

Около 80 % информации человек воспринимает через зрительный анализатор, ~15 % – слуховой, 5 % – остальные каналы переработки информации.

Глаз человека работает по принципу фотокамеры (рис. 2). Хрусталик (объектив) с помощью аккомадационной мышцы фокусирует изображение на близкие предметы (ребенок – 60 мм, взрослый не ближе 150 мм). При расстоянии более 6 м фокусировки не требуется.

Зрачок – отверстие в радужной оболочке, размеры которого изменяются в зависимости от количества света (2–8 мм)

В результате химических, нервных и психических процессов на сетчатке образуется перевернутое зрительное изображение. Сетчатка состоит из $7 \cdot 10^6$ колбочек и $130 \cdot 10^6$ палочек, плотность которых неравномерна. Палочки воспринимают только черный, белый и оттенки серого цвета, колбочки – хроматические цвета. Центральная ямка (фовеа) содержит только колбочки. Слепое пятно – зрительный нерв, нет ни палочек, ни колбочек.

Различают две оси: зрительную и оптическую.

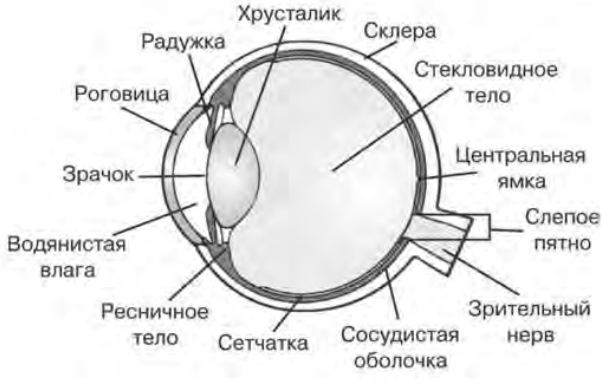


Рис. 2. Строение глаза человека

Диапазон чувствительности – по яркости от $10^{-6}$ кд/м$^2$ для глаза полностью адаптированного к темноте до $10^6$ кд/м$^2$ для глаза полностью адаптированного к свету

Дифференциальный порог – 0,01 от исходной интенсивности стимула

Временные характеристики изучены слабо. Время инерции глаза – 0,05 – 1 с.

Важной характеристикой является критическая частота мелькания. При частоте более 40 гц мелькание изображения не замечают.

Тепловая адаптация – 40–60 мин, световая – 5–10 мин.

Латентный период – промежуток времени от момента подачи раздражителя до момента возникновения ощущения (0,16–0,24 с).

Пропускная способность – количество информации в единицу времени

– на уровне сетчатке – $5{,}6 \cdot 10^9$ дв.ед /с

– на корковом уровне – 20-70 дв.ед/с

В целом, с учетом ответной реакции 2–4 дв.ед/с

Порог болевого ощущения – 160 дб, солнечный свет – 140 дб, экран телевизора – 60 дб, нижний порог – 0–20 дб.

Глаз различает семь основных цветов и более сотни их оттенков:

Длина волны 380–455 ммк – фиолетовый цвет, 455–470 ммк – синий, 470–500 ммк – голубой, 500–540 ммк – зеленый, 540–590 ммк – желтый, 590–610 ммк – оранжевый, 610–780 ммк – красный.

Контрастность по отношению к фону влияет на восприятие цвета. Лучше различаются такие комбинации знаков: синий на белом, черный на желтом, зеленый на белом. черный на белом, зеленый на красном красный на желтом.

Контраст – отношений разности изображения и фона к яркости фона. Различают прямой (символ темнее фона) и обратной (символ светлее фона) контраст.

$$K_{\text{пр}} = \frac{B_{\text{ф}} - B}{B_{\text{ф}}}, \quad K_{\text{об}} = \frac{B - B_{\text{ф}}}{B}$$