

УДК 697.11

**К ВОПРОСУ О ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПЛЕКСА – ЧЕЛОВЕК,
СИСТЕМА, СРЕДА**

Б. Х. Драганов, доктор технических наук

Н. Ю. Масюк, студент магистратуры

e-mail: nni.elektrik@gmail.com

Аннотация. Изложены основные положения совместимости человека и технической системы с учетом условий окружающей среды. Приведен метод расчета теплообмена человека, явный и скрытый теплообмен комфортных параметров по теплоощущениям.

Ключевые слова: *система обеспечения жизнедеятельности, комфортное состояние, техническая система, среда, условия совместимости, теплообмен тела человека, радиационный, конвективный, кондуктивный, уровень работоспособности*

Предмет исследования – основы обеспечения жизнедеятельности: человек, система, среда.

Цель исследований – разработать метод обеспечения комфортных условий жизнеобеспечения комплекса – человек, система, среда.

Материалы и методика исследований. Система обеспечения жизнедеятельности оператора предназначена формированию требуемой среды обитания с учетом взаимной работы оператора с окружающей средой и возможно другими системами в условиях комплексного воздействия экстремальных факторов. При этом некоторые факторы являются детерминированные, другие стохастические.

Речь идет о своеобразном симбиозе оператора и системы. Необходимо так построить техническую систему, чтобы она легко управлялась человеком.

Нужно так подобрать оператора, так его обучить, чтобы он из техники мог взять все, что потенциально в ней заложено, так организовать параметры внешней среды, в которой взаимодействует оператор и система, выбрать такие алгоритмы деятельности операторов, чтобы в конечном итоге получить оптимальный высоконадежный и сбалансированный биотехнический комплекс оператор – система – среда.

Таким образом, комплекс человек – система можно определить как сочетание одного или нескольких людей с одним или несколькими компонентами оборудования, взаимодействующих друг с другом так, чтобы система, получая сигналы на входе, вырабатывала требуемые в конкретных условиях окружающей среды выходные сигналы.

В настоящее время интенсивно развивается новое научно-техническое направление – эргономика, которое призвано обслуживать комплекс оператор – система – среда. [1–3].

Термин «эргономика» составлен из двух греческих слов (ergon – работа, действие, nomos – закон).

Эргономика опирается на технические, математические и антропологические науки, но не подменяет их. Она использует результаты теорий сложных систем, автоматического управления информацией, принятий решений, надежности, технической диагностики, психологии и физиологии труда, динамической антропометрии, промышленной гигиены, смыкается с технической эстетикой, педагогикой, социальной психологией, научной организацией труда. Задачей эргономики является научная разработка рекомендаций по созданию гибридного комплекса, составляемого из элементов разной природы (живой и неживой), оптимизации его выбранным критериям, оценка, эффективная организация работы комплекса с единых позиций. Это достигается прежде всего за счет такой организации всего комплекса,

эго элементов и характеристик, при которой управляющие переменные имеют такие значения (в пределах наложенных ограничений), которые максимизируют или минимизируют величину целевой функции.

Такой комплекс представляет собой разумный научно обоснованный компромисс, при котором учитываются и уровень развития современной техники, и возможности оператора, и свойства внешней среды.

С точки зрения эргономики человек способен к творческим актам, к импровизации, инициативе, является универсальным и пластичным элементом, может обучаться, толковать события малой вероятности, вырабатывать суждения, быстро принимать гибкие программы и их реализовать, способен по-разному решать однотипные задачи, учитывать накопленный опыт, действовать, сообразуясь с обстановкой, у него хорошо развита логика, он высокоселективен при отборе информации, может накапливать в памяти и вспоминать в нужное время большое количество информации, способен объединять в единое целое информацию, поступающую к нему через различные анализаторные системы. Он быстро распознает различные образы (зрительные, звуковые), чему очень трудно научить технические системы.

Оператор обладает большой разрешающей способностью в особо трудных условиях работы, *эвристическими* возможностями.

Оператор в комплексе, как правило, может выполнять очень много функций: к ним относятся наблюдения, распознавание, вычисление, логическое суждение, анализ событий, фильтрация полезных сигналов и многое другое.

Но человек бывает и беспомощен (если ему не помогут автоматы), например, при сильной жаре и значительном морозе, невесомости и т. п., подвержен страху, неуверенности, скуке, раздражительности, усталости.

Человек медленно рассчитывает, плохо работает в «режиме ожидания», относительно слаб физически, не приспособлен к монотонной работе (ошибается, засыпает, снижает свою рабочую профессиональную

бдительность), ограничен в отношении приема и переработки информации, лучше всего может одновременно выполнять лишь одну целостную операцию.

Правда, путем целенаправленных мероприятий эти недостатки можно несколько компенсировать. И это надо учитывать.

В сложном комплексе оператор управляет не непосредственно самой системой, опосредованно, через ее информационную модель. По этой модели оператор воссоздает «образ» системы в каждый момент времени.

В комплексе оператор, техническая система, среда должны быть обеспечены условия совместимости. Рассмотрим основные из них.

Информационная совместимость состоит в том, чтобы создать такую информационную модель, адекватную системе.

Биофизическая совместимость оператора, системы и среды состоит в том, чтобы достичь разумного компромисса между физиологическим состоянием и работоспособностью оператора.

Пространственно-антропометрическая совместимость оператора и машины состоит в том, чтобы исходя из антропометрических характеристик и некоторых физиологических особенностей оператора (динамическая антропометрия), а также условий, диктуемых конкретной задачей, создать требуемые рабочее место.

Результаты исследований. Любая подсистема СОЖ должна соответствовать эксплуатационным требованиям того или иного технического устройства. Вредные примеси, содержащиеся в воздухе в концентрациях, не превышающих предельно допустимые, обладают неспецифическим действием на организм человека. Одновременное присутствие в воздухе нескольких веществ может приводить к усилению эффекта неспецифического действия.

Учитывая это, некоторые исследователи предлагают оценивать состояние воздушной среды А следующим соотношением [4]:

$$\frac{x_1}{A_1} + \frac{x_2}{A_2} + \dots + \frac{x_n}{A_n} \leq 1,$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – реальные концентрации отдельных веществ; A_1, A_2, \dots, A_n – их предельно допустимые концентрации.

При соблюдении этого неравенства санитарное состояние воздушной среды следует считать удовлетворительным.

Указанный подход к гигиенической оценке воздушной среды не лишен недостатков и некоторой схематичности.

Так, например, указанная формула не учитывает биологической значимости отдельных вредных примесей, одновременного действия на организм человека других факторов среды и т. п.

По мере того как растет количество технических средств, мы все чаще сталкиваемся со случаями, когда человек не в состоянии полностью использовать их потенциальные возможности.

Таким образом, очень важно наиболее полно учитывать возможности человека при создании сложных систем.

Однако нельзя и переоценивать возможности сложных систем. В настоящее время сложную машину, техническую систему и человека, для которого она создается, уже невозможно рассматривать в отдельности.

Конструкция системы должна обеспечивать сохранность физико-химических и санитарно-гигиенических свойств.

Информационная модель объединяет два поля – сенсорное (чувствительное), состоящее из ряда сигнальных устройств, приборов, индикаторов, мнемосхем, звуковых сигналов, световых устройств, экранов и т.д.; к сенсорному полю информационной модели относят и весь тот комплекс сигналов, который воспринимается оператором непосредственно от самой системы (вибрация, шумы и т.д.), и сенсомоторные, состоящие из органов

управления.

Существенным является вопрос биофизической совместимости оператора, системы, среды.

Тепловой микроклимат помещения и теплопродукция тела человека взаимообусловленные факторы и эта проблема затрагивает внимание.

В организме человека протекают метаболические процессы, в ходе которых энергия освобождается в виде тепла и полезной работы мышц. Величину производимой человеческим организмом энергии физиологи определяют по количеству потребляемого кислорода.

В состоянии покоя количество кислорода (так называемый обмен веществ), потребляемого взрослым человеком, составляет 0,25 л/мин, ($0,42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$). Если количество теплоты, освобождаемое при сгорании кислорода, принять равным примерно 5 ккал/л ($21 \times 10^3 \text{ Дж/м}^3$), тогда количество энергии составит 1,25 ккал/мин, или 75 ккал/ч (88 Вт) [5].

Данные, фигурирующие в специальной литературе, близки у к этим значениям. Например, согласно исследованиям Дю-Буа [6], энергия основного обмена веществ за 1 ч составляет 60 ккал/ч.

Относительно энергетических характеристик людей среднего физического развития имеются лишь приблизительные данные. Потребность в кислороде молодого человека при систематической трудовой деятельности составляет 1 л/мин ($0,017 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$), что соответствует энергии (350 Вт). За вычетом энергии основного обмена веществ, составляющей, на долю полезной работы мышц приходится.

К таким нагрузкам относится, например, ходьба по ровной дороге со скоростью 6 км/ч (1.66 м/с).

Суточное колебание физиологической работоспособности человека среднего физического развития приведено на рисунке.

Если физическая нагрузка превышает работоспособность человека,

то развивается состояние истощения даже в том случае, если обеспечено необходимое для этого труда количество кислорода.

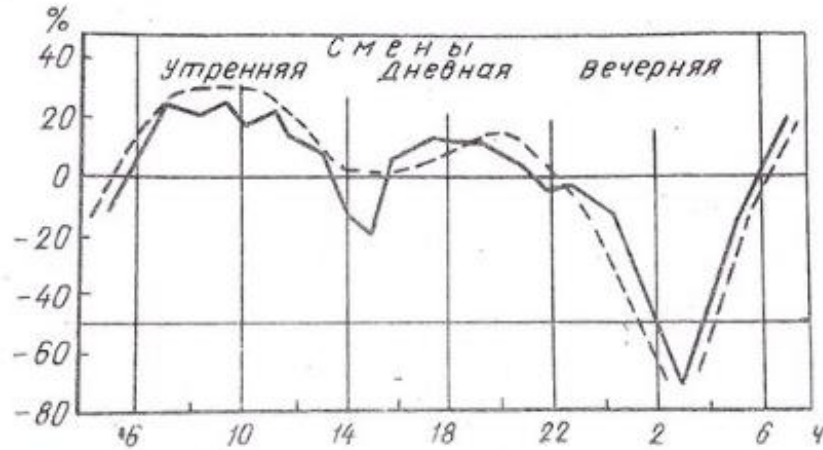


Рис. Изменение работоспособности человека в течение суток:

сплошная линия — по данным английских исследователей [7] и пунктирная линия — по данным шведских исследователей [8]

Метаболизм (обмен веществ) - это совокупность процессов, связанных с поглощением, превращением, хранением и выделением продуктов жизнедеятельности организма. Метаболическая тепловая энергия определяется по количеству потребляемого кислорода и выражается следующей формулой:

$$M = 5,8\bar{V} \frac{V_{\dot{O}_2}}{F_{Du}}, \quad (1)$$

где $V = V_{CO_2}/V_{O_2}$ — отношение количества выдыхаемого углекислого газа (V_{CO_2}) и вдыхаемого кислорода, (V_{O_2}), меняющееся от 0,83 (отдых) до 1 (тяжелый физический труд); \bar{V} — потребление кислорода, л/ч, при температуре воздуха 0°С и при давлении 760 мм рт. ст; 5,8 — энергетический эквивалент 1 л кислорода в Вт-ч/л при температуре 0° С и давлении 760 мм рт. ст при $V = 1$; F_{Du} — так называемая «поверхность Дю-Буа», которая используется для определения

площади поверхности человеческого тела; ее численное значение определяется выражением:

$$F_{Du} = 0,203G^{0,425} l^{0,725}, \text{ м}^2, \quad (2)$$

где G – масса человека, кг;

l – рост человека, м.

Окислительный процесс, протекающий в организме человека, по теории Фангера [4], состоит из внешней механической работы (W) и внутренней потребности теплоты (H). Таким образом, метаболическое тепло разделяется на две части:

$$M = H + W, \text{ ккал/ч.} \quad (3)$$

Коэффициент полезного действия механической работы выражается отношением

$$\eta = W/M. \quad (4)$$

С учетом уравнения (3) получаем:

$$H = M(1 - \eta). \quad (5)$$

Теплота, отнесенная к единице площади поверхности тела:

$$\frac{H}{F_{Du}} = \frac{M}{F_{Du}} (1 - \eta) \quad (6)$$

Для определения температуры тела и оценки теплового комфорта можно использовать следующее соотношение [9]:

$$t_T = (1 - C)t_k + Ct_{o.c}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7)$$

где t_T – средняя температура тела, $^\circ\text{C}$;

t_k – средняя температура поверхности кожи, $^\circ\text{C}$;

$t_{o.c}$ – температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$;

C – постоянный коэффициент.

В случае теплового комфорта человека величина $C = 0,8$.
Нормальное тепловое состояние человека может быть обеспечено и при

интенсификации потоотделения; в этом случае величина $C = 0,8-0,9$. Значение $C < 0,67$ означает чрезмерное охлаждение человека. Таким образом, с точки зрения обеспечения теплового комфорта целесообразно придерживаться большего значения C .

Температуру кожи можно принимать в качестве одной из характеристик теплоощущения. От соотношения способов теплоотдачи тела человека зависит величина температуры кожи.

Теплоощущение человека тесно связано с теплообменом его тела. Математическим описанием процессов теплообмена является уравнение теплового баланса тела человека:

$$S = M (W \pm Q_p \pm Q_k \pm Q_c), \quad (8)$$

где S – избыток или недостаток тепла в организме человека; M – метаболическое тепло; W – тепловой эквивалент механической работы; Q_c – теплоотдача путем испарения; Q_p – радиационная теплоотдача; Q_k – конвективная теплоотдача.

Под явным теплообменом как уже говорилось, подразумевается радиационный, конвективный и кондуктивный (теплопроводностью) теплообмен. Методы количественной оценки явного теплообмена разработаны достаточно полно.

Для определения величины радиационной и конвективной теплоотдачи обнаженного человека Марсель и Хатч [9] предлагают следующую формулу:

$$\left. \begin{aligned} Q_p + Q_k &= (5,65 + 0,53u^{0,5}) (t_{од} - t_в), \text{ ккал/ч} \\ Q_p + Q_k &= (6 + 0,5u^{0,5}) (t_{од} - t_в), \text{ Вт,} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где u – скорость воздушного потока, м/с;

$t_{од}$ – средняя температура поверхности тела и одежды человека, °С ;

$t_в$ – температура воздуха, °С.

Для одетых людей Нельсон, Эйхман, Хорват, Шеллей и Хатч [9] предлагают следующее уравнение, как модифицированную формулу уравнения

(8):

$$\left. \begin{aligned} Q_p + Q_k &= (2,66 + 0,65u^{0,5}) (t_{од} - t_в), \text{ ккал/ч} \\ Q_p + Q_k &= (2,8 + 0,69u^{0,5}) (t_{од} - t_в), \text{ Вт.} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

В дальнейшем $t_{од}$ будет означать среднюю температуру наружной поверхности одежды.

В большей степени распространен метод расчета, предложенный

$$Q_p + Q_k = \alpha_p (t_{од} - t_p) + \alpha_k (t_{од} - t_в), \text{ ккал/ч или Вт,} \quad (10)$$

где t_p – средняя радиационная температура, которую можно определить с помощью уравнения:

$$t_p = \frac{t_1 F_1 + t_2 F_2 + \dots + t_i F_i + \dots + t_n F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_i + \dots + F_n}, \quad (11)$$

где F_i – площадь поверхности окружающей среды, m^2 ;

t_i – средняя температура поверхности ограждений, $^{\circ}C$.

Для определения температуры кожи можно использовать следующие выражения:

для обнаженного человека:

$$t_k = 24,85 + 0,332t_0 - 0,00165t_0^2, \text{ } ^{\circ}C; \quad (12)$$

для одетого человека:

$$t_k = 25,8 + 0,267t_0, \text{ } ^{\circ}C. \quad (13)$$

Теплоизолирующие свойства одежды выражаются в так называемых «единицах кло»: 1 кло = $0,132 (m^2 \cdot ч \cdot ^{\circ}C) / \text{ккал}$, или $0,155 (m^2 \cdot K) / \text{Вт}$.

Для расчета потери тепла путем излучения Фангер [4] использует менее известную запись закона Стефана – Больцмана

$$Q_p = 1,163 F_{эф} \epsilon \sigma [(t_{од} + 273)^4 - (t_p + 273)^4], \text{ Вт,} \quad (14)$$

где $F_{эф}$ – эффективная излучающая поверхность тела, m^2 ;

ε – излучательная способность наружной поверхности одежды;

σ – постоянная Стефана – Больцмана, $4,9 \times 10^{-8}$ ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}^4$), или $5,7 \times 10^{-8}$ Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}^4$);

t_p – радиационная температура.

$F_{\text{эф}}$ можно определить с помощью следующего выражения:

$$F_{\text{эф}} = f_{\text{эф}} f F_{Du}, \quad (15)$$

где $f_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективной излучающей поверхности, а именно отношение эффективной излучающей поверхности тела к общей площади поверхности тела; F_{Du} – «поверхность Дю-Буа».

После подстановки известных величин в уравнение (14) получаем:

$$\begin{aligned} Q_p &= 3,4 \cdot 10^{-8} F_{Du} \cdot f [(t_{\text{од}} + 273)^4 - (t_p + 273)^4], \text{ ккал/ч} \\ Q_p &= 4,0 \cdot 10^{-8} F_{Du} \cdot f [(t_{\text{од}} + 273)^4 - (t_p + 273)^4], \text{ Вт.} \end{aligned} \quad (16)$$

Для расчета потери тепла путем конвекции Фангер применяет следующий метод. Потеря тепла путем конвекции (с наружной поверхности кожи одетого человека):

$$\left. \begin{aligned} Q_k &= F_{Du} \cdot f \alpha'_k (t_{\text{од}} - t_{\text{в}}) \\ Q_k &= 1,163 F_{Du} f \alpha'_k (t_{\text{од}} - t_{\text{в}}) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Здесь фигурирует всего один новый параметр – α'_k . По физическому смыслу α'_k есть коэффициент конвективной теплоотдачи.

Таким образом, при расчетах теплоощущения перед исследователем стоит задача, учитывая теплопродукцию человеческого тела, а также одежды и вида трудовой деятельности, определить технические параметры, соответствующие приятному теплоощущению большинства людей.

Выводы

В настоящее время наблюдается существенное развитие научно-технической системы во всех областях производства. Для эффективного обеспечения жизнедеятельности системы человек - техническая установка -

среда и формирования среды обитания необходимо выполнение соответствующих исследований и этой задаче посвящена статья – основные условия и приведен метод расчета параметров, комфортному ощущению.

Список литературы

1. Денисов В. Г. Человек и машина в системе управления / В. Г. Денисов. – М.: Знание, 1964. – 64 с.
2. Витте Н. К. Тепловой обмен человека и его гигиеническое значение / Н. К. Витте. – К.: Госмедиздат УССР, 1976. – 176 с.
3. Магоземов В. В. Системы жизнеобеспечения экипажей летательных аппаратов / В. В. Магоземов. – М.: Машиностроение. 1986. – 584 с.
4. Fanger P. O. Calculation of thermal comfort: Introduction of a basic comfort equation. New York. ASHRAE. Transaction, 1967, Vol. 73.
5. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений. Учет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Л. Банхиди. – М.: Стройиздат, 1981. – 248 с.
6. De Bois E.E. The mechanism of heatless and temperature regulation. Stanford University Press, 1937.
7. Adam Gy, Barlint P. Az elentan tankonyve dicina. Medicina, 1968.
8. Altanalos balesetelharito es ABEO. Vp. Tank – sics, 196.
9. ASHRAE. Handbook of Fundamental, 1972.

ДО ПИТАННЯ ПРО ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ КОМПЛЕКСУ - ЛЮДИНА, СИСТЕМА, СЕРЕДОВИЩЕ

Б. Х. Драганов, М. Ю. Масюк

Анотація. *Викладено основні положення сумісності людини і*

*"Енергетика і автоматика", №4, 2016 р.
технічної системи з урахуванням умов навколишнього середовища. Наведено
метод розрахунку теплообміну людини, явний і прихований теплообмін
комфортних параметрів за тепловідчуттями.*

Ключові слова: *система забезпечення життєдіяльності,
комфортний стан, технічна система, середовище, умови сумісності,
теплообмін тіла людини, радіаційний, конвективний, кондуктивний рівень
працездатності*

**TO THE PROBLEM OF LIFE COMPLEX - PEOPLE,
SYSTEMS, ENVIRONMENTS**

B. Draganov, N. Masuk

Annotation. The basic provisions of human and technical interoperability of the system, taking into account the environmental conditions. A method for calculating the human heat, the explicit and latent heat comfort parameters for thermal sensations.

Keywords: *life support system, a comfortable state, technical system, the environment, the compatibility conditions of the human body heat, radiation, convective, conductive, level of performance*