

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ФАКТОРОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

© В. Ю. Колосков

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського (ХАІ)

Одним із найважливіших завдань управління аерокосмічним виробництвом є забезпечення умов праці, безпечних для людей — учасників виробничого процесу. Проблема захисту працюючих у шкідливих умовах людей розв'язується в рамках безпеки виробничої діяльності.

В условиях современного аэрокосмического производства, в особенности производства изделий из композиционных материалов, на организм человека действует широкий спектр факторов различного происхождения. Характерным является сочетание целого ряда физических и химических факторов производственной среды, усиливающихся набором психофизических факторов (рис. 1). В настоящее время воздействие производственных факторов нормируется путем установления их предельно допустимых концентраций (ПДК) и уровней (ПДУ). Однако при комплексном нагружении факторами в пределах допустимых величин эффекты от их воздействия могут взаимно усиливаться и превышать допустимые значения.

В условиях «массированной атаки» со стороны производственной среды следует производить анализ реакции организма работающего на предприятии человека на весь комплекс воздействующих факторов, а не на отдельное воздействие каждого из них. В предложенной работе была сделана попытка разработать методику прогнозирования взаимодействия системы жизнеобеспечения (СЖО)

производственного процесса и организма человека, представленного в качестве биологической системы (БС).

Основой для рассмотрения моделируемых процессов может быть предложена следующая функциональная схема системы жизнеобеспечения производства (рис. 2).

В приведенной функциональной схеме в СЖО выделены три уровня функционирования.

Ближний уровень системы предназначен для восприятия откликов биологической системы, дальний — для восприятия параметров окружающей среды. Уровень преобразования параметров на основании полученных данных об окружающей среде и откликах организма на внешнее воздействие вырабатывает управляющий сигнал на преобразование пара-



Рис. 1. Комплекс опасностей аэрокосмического производства

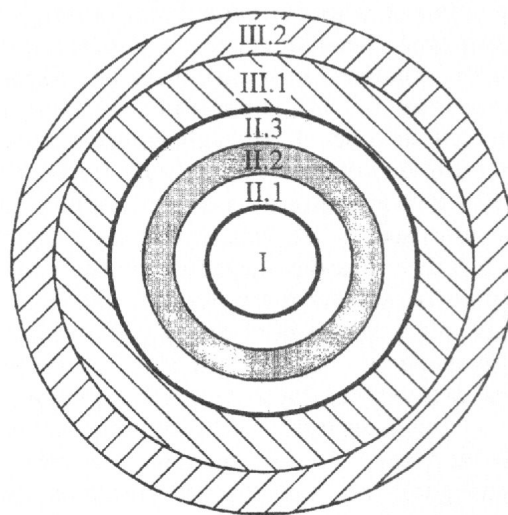


Рис. 2. Функциональная схема системы жизнеобеспечения: I — оператор производства (БС); II — СЖО производства (II.1 — ближний уровень СЖО, II.2 — уровень преобразования параметров СЖО, II.3 — дальний уровень СЖО); III — окружающая среда (ОС) (III.1 — ближний уровень ОС, III.2 — дальний уровень ОС)

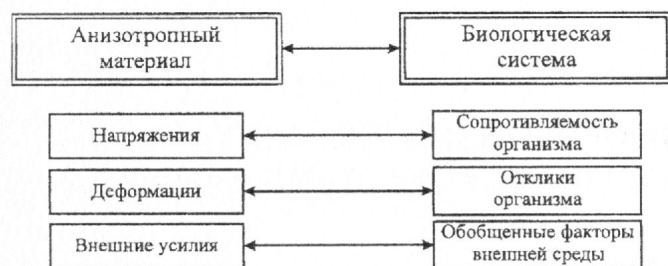


Рис. 3. Принцип построения механической модели функционирования БС

метров окружающей среды. Для решения этой задачи необходимо разработать модель состояния организма человека при комплексных воздействиях факторов аэрокосмического производства.

Специфика производственной среды состоит в том, что БС в ней подвергается комбинированному воздействию факторов различной природы. Организм человека вынужденно адаптируется к их воздействию. Как правило, для этих факторов в организме человека нет соответствующих эволюционно-адекватных компенсирующих механизмов. В этом случае адаптация в БС развивается за счет развития общего адаптационного синдрома (ОАС) [2, 5]. Стрессовый характер адаптирующей реакции ведет к напряжению компенсирующих систем, которым время от времени необходим отдых. Процесс снятия адаптационного напряжения в организме человека может быть сравнен с релаксацией в анизотропном материале после снятия нагружения.

На кафедре безопасности жизнедеятельности ХАИ была разработана механическая модель функционирования БС [1], принцип построения которой показан на рис. 3. На основании полученных соответствий может быть проведена прямая аналогия между деформациями в анизотропном материале и откликами в БС после снятия нагружения. Моделью для описания процесса релаксации в БС были приняты зависимости теории наследственной механики, интерпретация которых приведена в [4].

Для проведения численного эксперимента были выбраны следующие факторы, действующие на человека в производстве — вибрация и шум. В качестве исходных данных использован статистический материал по значениям откликов БС при раздельном и комбинированном воздействии этих факторов [6]. Далее было произведено прогнозирование последствий воздействия на биологическую систему этих факторов. Данные по откликам аппроксимировались моделирующей зависимостью по

методу наименьших квадратов. Точность аппроксимации [3, 4], полученная при этом, достаточно высока для того, чтобы сделать вывод об адекватности принятой модели описываемым процессам в БС.

На основании анализа функциональной зависимости модели были предложены следующие показатели оценки устойчивости релаксации.

1) Адаптационный предел относительного отклика

$$\varepsilon_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} [\varepsilon_0(t)] = \varepsilon_0 \left(1 + \frac{\lambda}{\beta} \right).$$

Этот показатель позволяет прогнозировать состояние здоровья человека после компенсации внешнего воздействия и наличие ее как таковой. Однако следует отметить необходимость оценки с медицинской точки зрения понятия диапазона допустимых значений адаптационного предела относительного отклика и уточнения этих пределов в числовом виде.

2) Характерное время релаксации

$$t_n = \left(\frac{\ln n}{\beta \gamma} \right)^{1/(1+\alpha)}$$

— время уменьшения величины относительного отклика до значения ε_n , такого, что

$$\varepsilon_n - \varepsilon_{\infty} = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{\infty}}{n}.$$

Здесь n — показатель кратности релаксации. Он характеризует безопасные значения относительного отклика БС, в которые система должна перейти для обеспечения нормальной адаптации.

Имея значения двух вышеуказанных показателей, можно прогнозировать характер развития адаптационного процесса после снятия нагружения, а именно: определять по первому параметру предельное значение для релаксационного процесса, а по второму — время нормализации параметров жизнедеятельности.

Далее может быть введена следующая классификация возможных вариантов развития релаксации откликов в БС (рис. 4).

1. Устойчивая релаксация, критерием определения которой является значение адаптационного предела отклика в диапазоне допустимых значений, и допустимое значение характерного времени (рис. 4, а).

Возможен также случай, когда ε_{∞} достаточно сильно отличается от нуля. В этом случае можно говорить об адаптационном характере изменений в организме человека с переходом его на новый, адаптированный уровень функционирования. Одна-

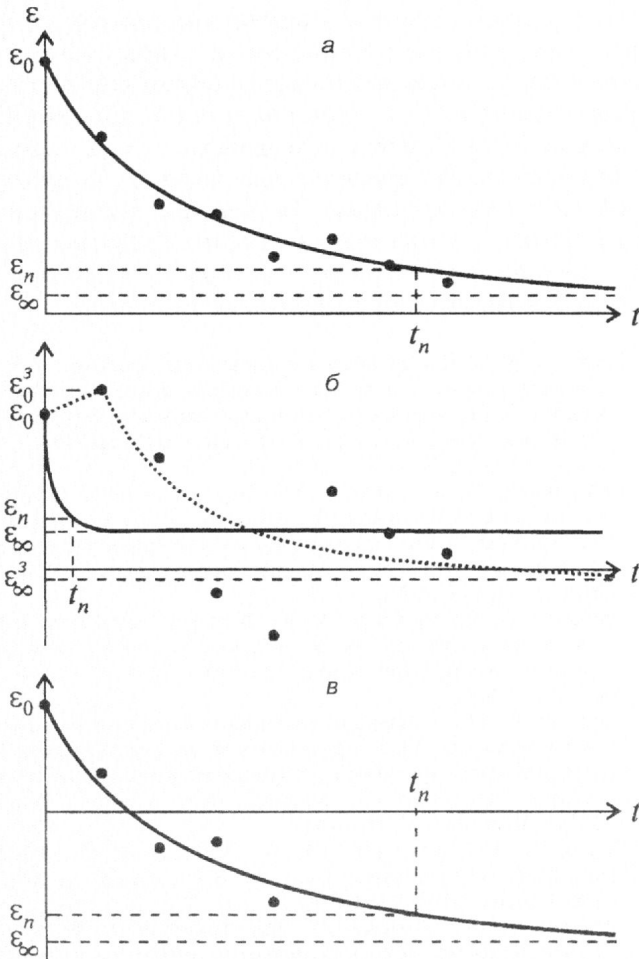


Рис. 4. Классификация релаксационных процессов в БС: а — устойчивая релаксация; б — неустойчивая релаксация; в — срыв адаптации. Точки — экспериментальные значения откликов, сплошная кривая — модель, пунктирная — возможный релаксационный процесс с учетом задержки реакции БС

ко сразу же необходим анализ такой адаптации на доброкачественность.

2. Неустойчивая релаксация, для которой значения ε_∞ также допустимы, но значения характерного времени слишком малы (рис. 4, б), что может служить признаком нарушений в компенсирующих системах БС.

В случае неустойчивой релаксации невозможно точно спрогнозировать реакцию БС. В работе [8] автор указывает на некоторую задержку реакции компенсаторных систем на раздражитель, связанную с необходимостью принятия БС решения о наборе компенсирующих реакций. Факторы, действующие на людей в производстве, также являются в той или иной мере неожиданными для БС, чем и может объясняться некоторая задержка реакции на

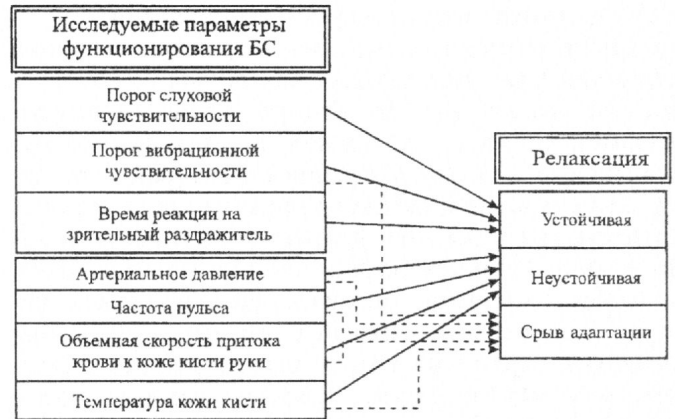


Рис. 5. Результаты моделирования

воздействие, маскируемая в данном случае разбросом по значениям откликов. Возможным вариантом уточнения модели для случая неустойчивой релаксации может быть предложен сдвиг начала отсчета на время задержки t_3 . В таком случае

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0^* \left\{ 1 + \frac{\lambda}{\beta} [1 - \exp(-\beta \gamma (t - t_3)^{1+\alpha})] \right\}, \quad t \geq t_3,$$

где ε_0^* — значение отклика в момент времени $t = t_3$.

3. Срыв адаптационного процесса (рис. 4, в). В этом случае значения предела отклика выходят за границы диапазона допустимых значений. Такой режим работы БС может быть оценен как недопустимый.

Предложенная классификация основана на физиологическом содержании происходящих в организме процессов и позволяет по расчетным параметрам функции судить о развитии изменений в будущем. Однако для большинства параметров жизнедеятельности человека результаты могут быть учтены пока только как рекомендации к подробному медицинскому обследованию работника.

Результаты моделирования релаксации откликов БС можно представить в виде диаграммы (рис. 5). Анализ результатов показывает, что исследуемые параметры можно разделить на две группы — параметры, моделью для которых является устойчивая и неустойчивая релаксация. Первая группа параметров — порог слуховой, вибрационной чувствительности и время реакции на зрительный раздражитель — для рассматриваемых действующих производственных факторов (вибрации и шу-

ма) являются адекватными, тренированными, и задержки реакции на них нет — разброс значений откликов мал, релаксация устойчивая и точность модели высока [4]. Во вторую группу попадают параметры жизнедеятельности, не связанные прямо с компенсацией рассмотренных факторов. Это параметры объемной скорости притока крови к коже, температура кожи, артериальное давление и частота пульса. Точность модели для них много меньше, а разброс значений откликов больше. Такой результат может быть объяснен тем, что на значения откликов влияют не только рассмотренные факторы, но и многие другие, действие которых может как маскировать, так и усиливать отклики БС [2].

Однозначно пока можно сказать следующее: описанная модель может быть использована для определения с достаточной степенью точности возможной адаптационной реакции человека на воздействие производственных факторов. Главным ее достоинством представляется простота переложения уже имеющегося математического аппарата теории наследственной механики [7]. В дальнейшем предложенная модель требует исследований с целью ее уточнения при других параметрах нагружения и для других производственных факторов.

Необходимо также определить значения допустимых величин откликов биологической системы с целью построения критериев оценки адаптационной способности по индивидуальному профилю. Индивидуальный оценочный профиль формируется набором параметров функции релаксации [4], аналогичных параметрам релаксации в анизотропном материале.

Обратной задачей является получение допустимых значений действующих на человека производственных факторов. Решая обратную задачу, можно получить для комбинированного нагружения диапазон допустимых значений и затем определить требуемые характеристики системы жизнеобеспечения.

Описанная методика после ее уточнения может стать научной основой для организации профессионального отбора людей, работающих в сложных производственных условиях. Помимо этого, при помощи описанной методики можно провести анализ действующих ПДК и ПДУ производственных факторов на предмет их уточнения с точки зрения адаптационных резервов организма человека.

Интересным аспектом применения данной модели может стать построение на ее основе компьютерной системы динамического управления состоянием оператора [2], прогнозирующей возможную реакцию БС на внешнее воздействие, и в случае неблагоприятного прогноза вносящей в ее работу необходимые коррективы. Применение такой системы возможно, к примеру, в условиях долговременных космических полетов, в которых управление с Земли невозможно из-за больших расстояний.

1. Гайдачук А. В. Новый подход к оценке безопасности технологических процессов на ранних стадиях подготовки производства // *Авиационно-космическая техника и технология*: Тр. Харьк. авиац. ин-та им. Н. Е. Жуковского за 1995 г. — Харьков: ХАИ, 1996. — С. 369—373.
2. Гайдачук А. В., Колосков В. Ю. Информационные аспекты моделирования откликов организма оператора на воздействия внешней среды // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. — 2000. — Вып. 6. — С. 115—127.
3. Гайдачук А. В., Колосков В. Ю. Моделирование откликов организма оператора на воздействия внешней среды // *Космічна наука і технологія. Додаток*. — 2001. — 7, № 1. — С. 172—176.
4. Колосков В. Ю. О точности механической модели усталостных и релаксационных процессов в организме оператора // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов*. — Харьков: Гос. аэрокосм. ун-т, 2000. — Вып. 20. — С. 107—112.
5. Коляда Т. И., Волянский Ю. Л., Васильев Н. В., Мальцев В. И. Адаптационный синдром и иммунитет. — Харьков: Основа, 1995. — 282 с.
6. Меньшов А. А., Паранько Н. М., Выщипан В. Ф. и др. Комбинированное действие производственного шума и вибраций на организм. — К.: Здоров'я, 1980. — 176 с.
7. Работнов Ю. Н. Элементы наследственной механики твердых тел. — М.: Наука, 1977. — 384 с.
8. Суворов Г. А. К вопросу адаптации организма к нестационарному шумовому воздействию // *Системы адаптации человека и внешняя среда: Матер. науч. конф.* — Л., 1975. — С. 108—109.

MODELLING OF MAN ORGANISM ADAPTING TO INFLUENCE OF AEROSPACE MANUFACTURING FACTORS

V. Yu. Koloskov

One of major tasks of aerospace manufacturing management is the maintenance of working conditions, which are safe for the people participating in manufacturing process. The problem of protection the people, working in harmful conditions, is deciding within the framework of safety of industrial habitability.