

Для заданных параметров транспортера, т.е. когда  $z = 15^\circ$ ,  $u = 100 \text{ с}^{-1}$ ,  $r = 0,05\text{м}$ ,  $r_1 = 0,0045\text{м}$ ,  $f_2 = f_1 = 0,5$ , угол  $\alpha_{\text{опт}} = 23,6^\circ$ , что удовлетворительно совпадает с экспериментальным значением.

### ЕСТЕСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЗМА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

Новосельцев В.Н.

*Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова РАН  
Москва, Россия*

Учет человеческого фактора в сложных системах имеет давние традиции и созданы специфические методы математического описания тех или иных свойств организма. В то же время в последние годы все чаще возникают задачи управления, где организм человека выступает как целое, в единстве всех физиологических функций. Для решения таких задач необходимы модели организма, в которых он представлен как целостная система, способная противостоять действию разнообразных повреждающих и разрушающих факторов. Целью моделирования является описание целостных свойств организма, в том числе прогноза и анализ путей наступления смерти. Кроме того, решаются задачи управления режимами предотвращения смерти и восстановления жизнедеятельности.

В таких задачах успешно применяется концепция «естественных технологий организма», предложенная в 1987 г. А. М. Уголевым [1]. Мы рассматриваем ее в математико-модельной трактовке [2], где организм представляется как целостная совокупность физиологических систем. Целостность означает, что в модели "идет жизнь", т.е. поддерживается стационарное неравновесное состояние и гомеостаз, а удаление из модели любой жизненно-важной компоненты приводит к тому, что система теряет устойчивость. При потере устойчивости жизненные процессы в ней прекращаются, наступает смерть [3].

Основой жизни организма являются процессы в его клетках. Поэтому жизненные явления описываются переменной  $w$  - интенсивностью протекания клеточных процессов. В норме  $w=w^*$ . Ухудшение условий внутренней среды организма ингибирует жизненные процессы:  $w$  снижается, а  $w=0$  означает, что жизненные процессы прекращаются. Описание внутренней среды включает  $m$  переменных  $x_i$  - количества веществ в моделируемых системах  $[x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m]^T$ . Для переменных, описывающих количество вещества в некотором организменном "отсеке", обычно используют термин "компаратмент".

Внешняя среда описывается вектором  $v$  размерности  $l$ :  $v=[v_1 \ v_2 \ \dots \ v_l]^T$ . В качестве  $v_1$  можно

взять кислород атмосферы, показатели радиационного фона, загрязнения воды, и т.п. Для поддержания процессов жизнедеятельности необходимо, чтобы к клеткам непрерывно поступали вещества и энергия. Для этого нужные вещества должны появиться в организме (в его "источниках"); шлаки, наоборот, должны элиминироваться в "стоках". Процессы обмена и транспорта веществ для компартмента  $x_i$  имеют вид

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1}^m y_{ij}(x, v) - \sum_{j=1}^m y_{ji}(x, v) + y_{i0}(x, v) - y_{0i}(x, v), \quad i=1, 2, \dots, m,$$

где  $y_{pq}(x, v)$  - потоки веществ в  $p$ -й компартмент из  $q$ -го; индекс 0 - окружающая среда ( $p=1, \dots, m$ ;  $q=1, \dots, m$ ;  $p \neq q$ ). В  $k$ -м компартменте имеется "задающий сигнал"  $y_{0k} \equiv w$ .

Интенсивность транспортных потоков определяется функциональными возможностями ответственных механизмов:  $y_{pq} = F_{pq}(x, v) \cdot (x_p - x_q)$ , где  $F_{pq}(x, v)$  - характеристика механизма. Жизнь клеток организма идет в наилучших условиях, пока имеет место гомеостаз, т.е. если  $M$  жизненно важных переменных  $x_i$  лежат в допустимых пределах  $x_{i\min} < x_i \leq x_{i\max}$  ( $i=1, \dots, M$ ;  $M \leq m$ ). За этими пределами интенсивность жизненных процессов снижается. Если нарушения несовместимы с жизнью ( $x_i \leq x_{i\min}$  или  $x_i \geq x_{i\max}$ ), жизнь прекращается.

Формальная модель имеет следующий вид. Если имеется процесс, протекающий в области "оптимума" со скоростью  $u^*$ , то при изменении  $x_i$  фактическая скорость  $u'$  меняется по простому закону  $u' = u^* \cdot F(x_i)$ , где функция  $F(x_i)$  имеет «колоколообразный» вид. В области гомеостаза скорость процессов неизменна, при нарушении гомеостаза уменьшается, а при существенных нарушениях процесс прекращается.

Важное значение имеет понятие нормы - отсутствие пороков развития организма, органических и функциональных нарушений. Норма при моделировании интерпретируется следующим образом (в условиях нормы все величины отмечаются знаком \*). В норме ( $w=w^*$ ;  $v=v^*$ ) имеет место стационарное неравновесие и гомеостаз: во всех производственных компартментах [4] соблюдается баланс веществ; в стационарном состоянии ( $dx_i/dt=0$ ) все потоки равны  $u_{pq}^*$  и

$$\sum_{j=1}^m y_{ij}(x, v) - \sum_{j=1}^m y_{ji}(x, v) + u_{i0}^*(x, v) - u_{0i}^*(x, v) = 0.$$

В норме отсутствуют пороки развития и функциональных нарушения, т.е.  $y_{pq} = F_{pq}(x, v)$ .

Функциональное состояние каждой из систем определяется как ее способность выполнять свои физиологические функции. Его существенное снижение называется недостаточностью функции и относится к патологическим состояниям организма. В модели состоянии каждой сис-

темы характеризуется величиной снижения величины потока  $y_{pq}$ , поддерживаемого этой системой, по сравнению с  $y_{pq}$ . Так, для системы внешнего дыхания  $y' = \mathbf{FP} y$ , где  $y'$  - поток кислорода из атмосферы в кровь при состоянии системы дыхания, равно  $\mathbf{FP}$ ,  $y$  - то же в условиях нормы. Нормальному функциональному состоянию внешнего дыхания отвечает  $\mathbf{FP} = 1$ , а полному отказу дыхания -  $\mathbf{FP} = 0$ .

Разумеется, нужно максимально расширять состав моделируемых систем. Обратившись к стандартной таблице классификации болезней [5] и исключив инфекционные, онкологические и пр. заболевания (классы I, II, XI-XVII), можно определить набор жизненно-важных систем. Например, введем вектор функционального состояния организма в виде  $\mathbf{FS} = [\mathbf{FK} \mathbf{FL} \mathbf{FH} \mathbf{FP} \mathbf{FG} \mathbf{FN} \mathbf{FM}]^T$ . Здесь участвуют функции почек  $\mathbf{FK}$ , печени  $\mathbf{FL}$ , сердечно-сосудистой системы  $\mathbf{FH}$ , легких  $\mathbf{FP}$ , желудочно-кишечной и нервной систем  $\mathbf{FG}$  и  $\mathbf{FN}$ , а также костного мозга  $\mathbf{FM}$ . В норме эти компоненты, обозначаемые как  $\mathbf{FS}_i$  ( $i=1, \dots, 7$ ), равны 1. Нарушение гомеостаза по переменной  $x_j$  приводит к снижению (в той или иной степени) функциональной способности всех систем:  $\mathbf{FS}_i = \mathbf{FS}_{i0} \cdot F_i(x_j)$ , где  $\mathbf{FS}_{i0}$  - начальное значение  $\mathbf{FS}_i$ . Поскольку снижение функции  $\mathbf{FS}_i$  может произойти из-за нарушений гомеостаза по каждому из  $x_j$  ( $j=1, 2, \dots, M$ ), получаем окончательную формулу возникновения функциональной недостаточности при нарушениях гомеостаза:  $\mathbf{FS}_i = \mathbf{FS}_{i0} \cdot \prod F_i(x_j)$ , где символ  $\prod$  означает произведение по  $i$  от 1 до  $M$ .

В представленной модели естественной технологии можно воспроизвести целый ряд процессов и механизмов, приводящих организм к смерти ( $w = 0$ ). Область внешних условий, в которых возможно стационарное протекание жизненных процессов, ограничена:  $v \in \Omega_v$ . Очевидно,  $v^* \in \Omega_v$ . При выходе переменных  $v$  на границы области  $\Omega_v$  говорят об "экстремальных условиях" среды. Вне области  $\Omega_v$  жизнь возможна только короткое время до исчерпания ресурсов организма. Так, при попадании организма в бескислородную среду ( $v_1 = 0$ ) время исчерпания ресурсов по кислороду составляет 5-6 мин. При остром отравлении аммиаком ( $v_2 = 2.0 \text{ г/м}^3$ ) жизнь сохраняется несколько часов [6].

Наступление смерти в модели воспроизводится следующим образом. Сначала возникает нарушение баланса веществ, а затем - внутренней среды. Если при этом хотя бы одна из жизненно важных переменных  $x_i$  выходит за пределы гомеостаза, возникает функциональная недостаточность и развиваются двунаправленные процессы. С одной стороны, организм за счет напряжения механизмов регуляции стремится восстановить гомеостаз, с другой - нарушения увеличивают функциональную недостаточность, затрудняя этот процесс. Если в ходе кризиса жизненно важные  $x_i$  выходят за пределы совместимости с жизнью, функции организма  $\mathbf{FS}$  резко падают и на-

ступает смерть. В задачах управления рассматриваются как процессы умирания, так и процессы восстановления жизнедеятельности организма [6, 7].

В работе [7] была предложена базовая "минимальная" модель организма, построенная на основе настоящих представлений. В ней четыре компартмента (кислород артериальной крови и тканей и количество шлаков, элиминируемых в печени и экскретируемых почками).

Эта модель была применена для нескольких типов прикладных задач. Так, в медицинских постановках схема возникновения острой функциональной недостаточности с летальным исходом выглядит следующим образом. Для каждого типа недостаточности выделяется несколько "стандартных" патофизиологических механизмов, которые проявляются под действием поражающего фактора. В организме развивается патологический процесс  $P(t)$ , вызывающий снижение функциональной способности его систем и приводящий к смерти. Этим методом было решено несколько задач из области моделирования действия сильных ядов (альфа-аманитина [5], хлора, аммиака и др.). Другой тип задач, решаемых с помощью базовой модели, связан с изучением жизненного цикла организма в нормальных и экстремальных условиях. В частности, была решена задача анализа условий жизни в г. Тула и рассмотрены механизмы и пути увеличения продолжительности жизни при улучшении условий обитания [8]. Наконец, для анализа острых отравлений полонием-210 был предложен расширенный вариант той же модели [9].

Таким образом, можно ожидать, что подход с позиций «естественных технологий организма» и в будущем окажется полезным при анализе сложных биологических, токсикологических, экологических и др. процессов, в которых существенную роль играют кризисные ситуации с возможностью летального исхода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Уголев А.М. Естественные технологии биологических систем. - Л.: - Наука. - 1987.
2. Новосельцев В.Н. Моделирование естественных технологий организма для исследования процессов управления его жизнедеятельностью // Автоматика и телемеханика. - 1992. - №12,
3. Новосельцев В.Н. Междисциплинарное моделирование : возможный подход к анализу катастроф / Автоматика и Телемеханика, 1998, №2.
4. Новосельцев В.Н. Анализ целей управления в технологических системах и в системах естественной технологии // Сб. трудов Института проблем управления. - 1996. - вып.3,
5. Малая медицинская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. - 1987.

6. Дагаев В.Н., Новосельцев В.Н. Параметризация фармакокинетических моделей для исследования процессов управления в организме // Автоматика и Телемеханика. - 1995 - № 4.

7. Дагаев В.Н., Казачков В.И., Литвинов Н.Н., Новосельцев В.Н. Об использовании математических подходов к совершенствованию диагностики и лечения отравлений // Токсикологический вестник. - 1994. - № 6.

8. Машинцов Е.А., Новосельцев В.Н., Яковлев А.Е. Математическое моделирование жизненного цикла и качество здоровья населения. - М.: Институт проблем управления. - 2006.

9. Новосельцев В.Н. Междисциплинарное моделирование: естественные технологии организма и отравление полонием  $^{210}\text{Po}$  // XVI Международная конференция "Новые информационные технологии в медицине, фармакологии, биологии и экологии" – 2008.

### *Производственные технологии*

#### **ВЛИЯНИЕ ФОРСИРОВАННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПОСЛЕ ШТАМПОВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ 40X**

Жолдошов Б.М., Кенис М.С., Муратов В.С.

*Самарский государственный технический университет  
Самара, Россия*

Исследовано влияние вида термической обработки на структуру и свойства штамповок из стали 40X, подверженных форсированному охлаждению в воде после деформирования.

Исследованы три режима термической обработки: 1 – отпуск стали при 620 °С в течение 3 часов; 2 – закалка с температуры 850 °С в масле, отпуск 620 °С в течение 3 часов; 3 – нормализация с температуры 850 °С.

Режим № 1 обеспечивает твердость 241 НВ, структуру – феррит и сорбитообразный перлит игольчатой ориентации. Игольчатость с поверхности – 7-8 баллов, в осевом сечении – 9 баллов. Величина действительного зерна по сечению соответствует 3-5 баллам. Свойства: предел текучести  $\sigma_{0,2} = 550$  МПа, предел прочности  $\sigma_b = 730$  МПа, относительное удлинение  $\delta = 17\%$ , относительное сужение  $\varphi = 64\%$ , ударная вязкость  $KCU = 0,22$  МДж/м<sup>2</sup>.

Режим № 2 обеспечивает твердость 223-230 НВ, структуру – мелкодисперсный сорбитообразный перлит. Величина действительного зерна по сечению соответствует 8 баллу. Достигаются свойства: предел текучести  $\sigma_{0,2} = 535$  МПа, предел прочности  $\sigma_b = 720$  МПа, относительное удлинение  $\delta = 18\%$ , относительное сужение  $\varphi = 68\%$ , ударная вязкость  $KCU = 0,26$  МДж/м<sup>2</sup>.

После режима № 3 твердость стали 183-192 НВ, структура – сорбитообразный перлит и феррит. Величина действительного зерна соответствует 7 баллу. Достигаются свойства: предел текучести  $\sigma_{0,2} = 410$  МПа, предел прочности  $\sigma_b = 640$  МПа, относительное удлинение  $\delta = 28\%$ , относительное сужение  $\varphi = 62\%$ , ударная вязкость  $KCU = 0,18$  МДж/м<sup>2</sup>.

Из сопоставления полученных свойств следует, что обработка по режиму 3 (отпуск после форсированного охлаждения с деформационного нагрева) обеспечивает получение наиболее высокого уровня твердости и прочности стали. Ударная вязкость стали 40X достигает максимального значения при проведении закалки и отпуска.

### *Технологии живых систем*

#### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МИКРОВОЛН НА ЭПИТЕЛИОЦИТЫ КОЖИ**

Мельчиков А.С., Мельчикова Н.М.

*Сибирский государственный медицинский университет  
Томск, Россия*

В последние годы как в быту, так и при проведении лечебных и диагностических мероприятий все большее распространение получают источники микроволн. В связи с этим возникает необходимость в изучении изменений биохимических показателей эпителиоцитов кожи, в том числе базальных клеток, при воздействии СВЧ-волн.

Работа проведена на 65 половозрелых морских свинках-самцах. Животные подвергались воздействию микроволн термогенной ин-

тенсивности (длина волны – 12,6 см, ППМ - 60 мВт/см<sup>2</sup>, экспозиция – 10 мин.). В качестве генератора служил терапевтический аппарат "ЛУЧ-58", работающий в непрерывном режиме. Облучение производилось в одно и то же время суток – с 10 до 11 часов. Выведение животных из эксперимента и забор материала производился сразу, через 6 часов, на 1, 5, 10, 25 и 60-е сутки после действия указанного фактора. Участки кожи были взяты из различных областей (голова (щека), спина, живот). Гистоэнзимологическому исследованию подвергалась активность кислой фосфатазы (КФ) и  $\text{Na}^+, \text{K}^+$  аденозинтрифосфатазы (АТФ) в цитоплазме клеток базального слоя эпидермиса. Полученные данные подвергались статистической обработке с использованием критерия Стьюдента.