

УДК 621.38

А.В. Билык, канд. техн. наук, А.П. Шуляк

## Об аппаратно-программном комплексе для отработки вопросов исследования приспособительных реакций человека в диагностике и оценке состояния здоровья

Рассматривается исследовательский модуль для отработки вопросов наблюдения и анализа проявлений приспособительных реакций организма человека в частоте сердечных сокращений при физической нагрузке для получения дополнительных знаний о состоянии его здоровья – оценок возможностей адаптационных механизмов с указанием уровня паталогичности приспособительных реакций. В составе модуля - реанимационно-хирургический монитор ЮМ-300 или спортивный пульсомер НВ 8М00 в сочетании с ПК Notebook для обработки наблюдаемых данных. Описываются разработка схемы модуля, программного обеспечения и их пробные испытания.

The research module devoted to the problems of observation and analysis of the human organism adjustments in exercise heart rate to gain accomplishment about his health state – valuation of the adaptation mechanisms with the adjustments pathologicality level indication, is considered. Module includes reanimation and surgical monitor ЮМ-300 or sports heart-rate monitor НВ 8М00 in combination with PC Notebook to consider the observed data. Module's component elaboration, software and its trial tests are described.

**Ключевые слова:** сердечно-сосудистая система, пульсометрия, приспособительные реакции, исследовательские аппаратно-программные комплексы

### Введение

Адаптационные возможности организма человека – один из важнейших показателей состояния его здоровья. Они отражают способность регуляторных механизмов сохранять в определенных пределах параметры собственной внутренней среды системы и характеристики выходных процессов при непрерывном воздействии внешних и внутренних факторов. От них зависит стабильность работы отдельных систем и организма в целом.

При наличии таких механизмов биосистема отвечает на воздействие фактора  $x(t)$  (рис. 1) приспособительной реакцией, что можно проследить по изменению  $y(t)$  ее характерных па-

раметров. Так, при воздействии физической нагрузки на организм человека имеет место изменение частоты сердечных сокращений (ЧСС).

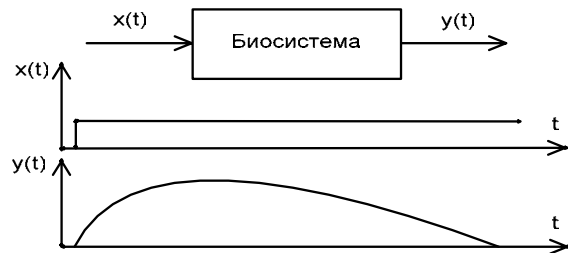


Рис. 1. Проявление приспособительной реакции на входное воздействие

При ступенчатом воздействии  $x(t)$  типичным проявлением реакции [1] есть унимодальная кривая  $y(t)$ , которая вначале демонстрирует уход системы от исходного состояния, а затем возврат к нему, хотя воздействие продолжается. Это будет, если система здорова, а воздействие не слишком сильное. При прочих равных условиях интенсивность и длительность приспособительных реакций отражают уровень регуляторных возможностей адаптационных механизмов системы, что позволяет давать объективную оценку их состояния.

Приспособительные процессы указывают не только на то, в каком состоянии находятся адаптационные механизмы системы и каковы их реальные показатели, но также и на то, каково в связи с этим состояние здоровья данной системы в целом. Поэтому проба в виде тестового воздействия с регистрацией реакции дает объективный результат, важный при оценке состояния здоровья [2].

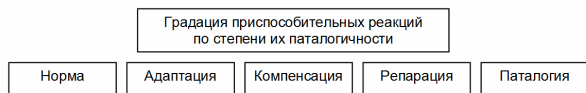
Наблюдение и анализ приспособительных реакций часто не требуют специализированных на этом измерительных приборов, а традиционные исследования состояния здоровья сохраняют свою актуальность. Они становятся этапом изучения таких реакций, которое как раз и начинается [3] с контроля текущих процессов и фиксации исходного состояния тестируемой системы. В рассмотрении адаптационных процессов это просто необходимо.

Главное в комплексировании в одном сеансе обследования двух разных указанных исследований – это обеспечение режимов измерений и регистрации данных, при которых они были

бы пригодными для решения первой и второй задачи. Соответствующая обработка результатов наблюдений позволила бы извлечь из них как традиционные, так и новые важные дополнительные знания о состоянии здоровья человека – оценки адаптационных возможностей его организма.

Особую ценность имеют оценки состояния здоровья, получаемые быстро (в течение нескольких минут) и объективно (по формальным признакам). Они востребованы во многих случаях - при допуске водителей транспорта к работе, самоконтроле состояниям здоровья, в спортивных тренировках, наблюдении за динамикой выздоровления пациентов и т.п. При этом обязательным является внимание к сердечно-сосудистой системе - одному из лидеров в создании трудно решаемых проблем и неотложных состояний. Часто она тестируется физической нагрузкой [3], контролю подвергаются артериальное давление, частота пульса, другие показатели. Оперативность в получении оценок достигается при слежении частоты сердечных сокращений, она откликается на нагрузку в первые же секунды [4].

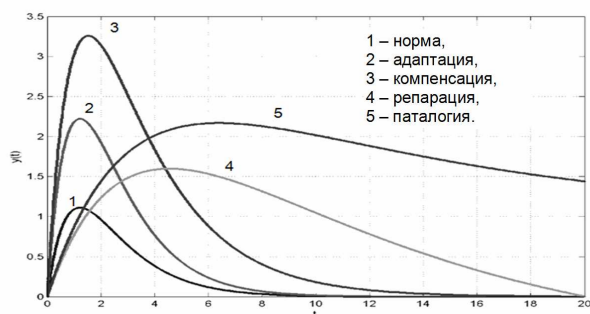
В определенных случаях подобные оценки могут быть выражены [1] на ранговых шкалах – с указанием уровня патологичности наблюдавшихся приспособительных реакций (рис.2), а он может быть установлен по формальным признакам.



**Рис. 2. Градация приспособительных реакций по степени их патологичности**

Такие оценки претендуют на объективность. Возможна автоматическая классификация реакций в ходе проб, отсюда - оперативность обоснования заключений и снижение необходимого уровня квалификации специалиста.

Отличия адаптационных процессов при такой классификации показывает рис.3 [5]. Момент начала воздействия здесь очевиден.



**Рис. 3. Отличия в проявлении приспособительных реакций различной степени патологичности**

Графики получены в соответствии с аналитической моделью [1] - при постоянном воздействии и нулевых начальных условиях.

Разработан алгоритм классификации реакций. Признаки разграничения классов [1]: интенсивность отклонений параметра от исходного состояния, факт выхода его значения за коридор нормы, положение момента возврата в коридор, результат окончания процесса.

Реализация рассматриваемого подхода с оценкой проявления приспособительных реакций в ЧСС связана с необходимостью решения и практической отработки ряда вопросов. Требуется договоренность о том, что считать проявлением приспособительной реакции при вариабельности сердечного ритма и что понимать под ЧСС при короткой длительности мерного интервала времени для ее оценки – из-за скорости протекания реакций. Требуется определить также этапы и условия проведения сеанса наблюдений, состав первичной измерительной информации, особенности обрабатываемых сигналов, временной режим выполнения наблюдений (длительность реализуемых этапов, приемлемые частоты съема данных), состав необходимого дополнительного программного обеспечения и т.д.

Особый вопрос - размытость границ [1] рассмотренных классов и определение целесообразной организации обучения экспертной системы решению задачи классификации. Необходимо отработка адаптации тестирования нагрузкой к особенностям испытуемого (его возрасту, полу, комплекции, тренированности и т.п.) - по требуемой (и допустимой) нагрузке, коридору нормы в отклике системы и другим вопросам.

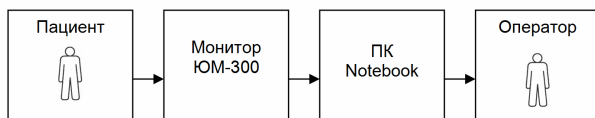
Модуль должен обеспечить также оценку разных моделей реакций, результативности применения различных программных процедур, выбор удобных форматов визуализации данных и целесообразного интерфейса пользователя. Все отмеченное не претендует на системный охват вопроса, однако убеждает в актуальности сборки исследовательского модуля и выполнения предварительных исследований.

Ниже приводятся результаты начального этапа исследований и разработок, связанных с рассматриваемой задачей, - построение схемы модуля, выбор режима получения первичной измерительной информации, разработку и испытание программных процедур выделения приспособительных реакций для их последующей классификации при оперативной оценке состояния здоровья пациента.

**1. Аппаратно-программный комплекс для обработки вопросов исследования приспособительных реакций человека по наблюдениям частоты сердечных сокращений**

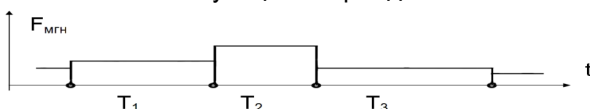
Рассматриваемый комплекс составлен из типового медицинского диагностического прибора с каналом пульсометрии и компьютера Notebook для обработки получаемых первичных данных в среде MatLab.

Слежение за частотой сердечных сокращений возможно по плетизмограмме или кардиограмме. Рассматривалось два варианта построения модуля. В первом (рис. 4) был использован реанимационно-хирургический монитор ЮМ-300 фирмы UTAS (его канал пульсоксиметрии). Во втором - спортивный пульсометр НВ 8М00 фирмы TopCom (схема аналогична). Подробнее рассмотрен первый случай.



**Рис. 4. Общая блок-схема исследовательского модуля с реанимационно-хирургическим монитором ЮМ-300**

Проявление реакции на физическую нагрузку (изменение ЧСС) начинается в первые же секунды, процесс нарастания частоты может иметь небольшую длительность – два десятка секунд. Отсюда последовало, что, период обновления данных о ЧСС при тестировании, как и мерный интервал для ее оценки, должны иметь тот же порядок длительности, что и период сердечных сокращений – примерно одну секунду. Поэтому использовано понятие мгновенной ЧСС и оно вводилось так (рис. 5). Допускалось, что на плетизмограмме или кардиограмме можно разграничить проявление отдельных (всех) циклов сердечных сокращений и определить длительность  $T$  каждого периода. Полагалась также, что в каждом цикле ЧСС постоянна и равна  $F_{\text{мгн}} = 60/T$ . Множитель 60 использован для приведения значения частоты к интервалу времени в одну минуту. Таким образом, длительность мерного интервала для оценки ЧСС рассматривалась равной не традиционным 10 или 15 секундам (с последующим пересчетом результата к одной минуте), а равной длительности соответствующего периода.

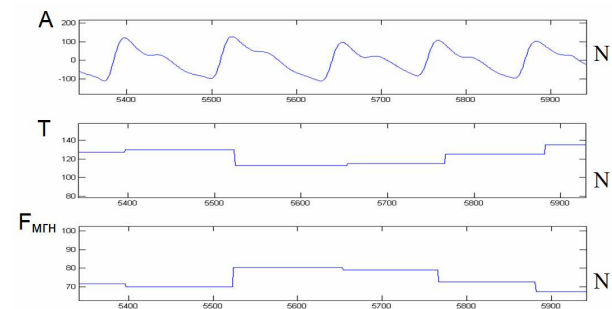


**Рис. 5. Смысл использованного понятия мгновенной ЧСС**

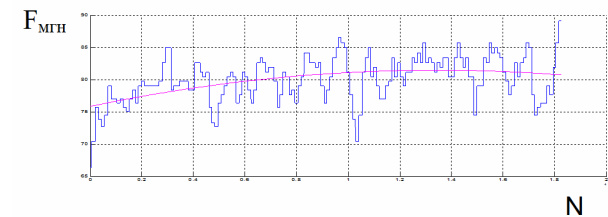
Порядок получения графика мгновенной ЧСС для случая реальных наблюдений плетизмограммы отражен на рис.6. Панорамное представление зависимости  $F_{\text{мгн}}(t)$  показано на рис. 7.

Отражена также вторая договоренность – о проявлении приспособительной реакции как унимодальном тренде мгновенной ЧСС.

Особенность модуля с прибором ЮМ-300 состоит в том, что выходные данные канала пульсоксиметрии (выводимые на цифровую индикацию) для наблюдения приспособительных реакций непригодны. Слишком длителен мерный интервал времени для оценки ЧСС.



**Рис. 6. Порядок оценки мгновенной ЧСС по плетизмограмме**



**Рис. 7. Панорамное представление графика мгновенной ЧСС и проявление приспособительной реакции**

Изменение ЧСС здесь начинает отмечаться только с 6-8 секунды после начала действия нагрузки, в то время как реальное проявление реакции начинается с первых же секунды, где скорость нарастания частоты может быть максимальной.

Нельзя было допустить, чтобы существенные данные о ходе реакций были утрачены, а в наблюдениях были недопустимые искажения. Поэтому использованы промежуточные данные канала получения плетизмограммы, они вполне подходили для фиксации проявлений и анализа приспособительных реакций. Заметно усложнилась однако обработка первичной измерительной информации, и потребовалась разработка дополнительных программных средств.

Если в составе модуля - пульсометр НВ 8М00, то обзорный график ЧСС почти не изменится. Договоренность о унимодальном тренде ЧСС как проявлении приспособительной реакции сохранит силу, процедура выделения тренда остается прежней.

Структура предложенного программного обеспечения и результаты пробных испытаний общей схемы для отработки вопросов исследований приспособительных реакций представлены ниже.

## 2. Результаты пробных испытаний аппаратно-программного комплекса для отработки вопросов исследований приспособительных реакций

На данном этапе разработок, связанных с обеспечением наблюдения и анализа приспособительных реакций, экспериментально исследовался модуль, включающий в свой состав монитор ЮМ-300. Программное обеспечение было испытано на реальных данных. При проведении пробных испытаний проверена передача данных сеансов измерений на ПК Notebook. Проверена вся схема преобразования первичной измерительной информации в проявление приспособительной реакции.

Основные разработанные и подвергнутые испытаниям подпрограммы представлены на рис. 8.

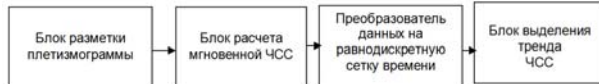


Рис. 8. Подпрограммы обработки первичных данных

Блок разметки плетизмограммы фиксировал расстановку максимумов на плетизмограмме при нестабильности ее формы и амплитуды, вариабельности сердечного ритма.

Блок составлен из трех подпрограмм. Вначале производится предварительная локализация максимумов (рис. 9). На рисунке отражена траектория поиска примерного положения максимумов

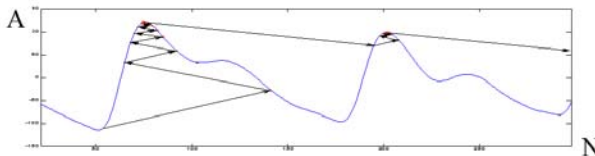


Рис. 9. Траектория поиска максимумов в предварительной их локализации

На следующем шаге положения максимумов уточнялось (рис. 10).

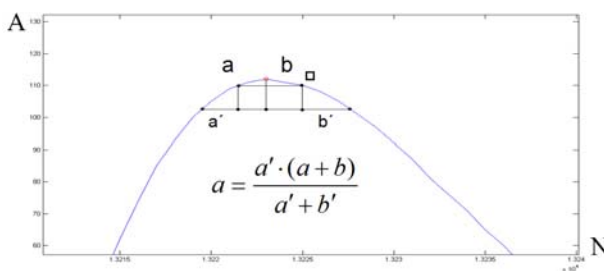


Рис. 10. Принцип уточнения положения максимумов

Начальное положение максимума отмечено квадратом. Результативность работы подпрограммы отражена на рис. 11, Показаны начальное и уточненное положения максимума. Последним в разметке было восполнение пропущенных и исключение ложных максимумов. Отыскивались слишком большие и малые периоды сокращений, прогнозировалось вероятное реальное положение, исключались лишние максимумы, отыскивались пропущенные - в малой области локализации.

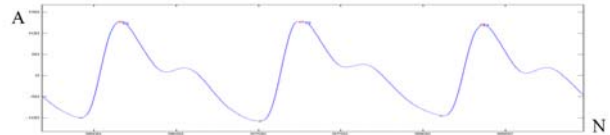


Рис. 11. Результат уточнения положения максимумов

Преобразование расстановки максимумов в изменение ЧСС выполнено в соответствии с договоренностями. Показанный на рис. 7 тренд изменения ЧСС под нагрузкой – один из примеров проявления приспособительной реакции в ходе испытаний модуля.

## Выводы

1. Для реанимационно-хирургического монитора ЮМ-300 без каких-либо его доработок возможен дополнительный режим - наблюдения и регистрации проявлений приспособительных реакций организма человека в ЧСС к физическим нагрузкам.

2. Этот прибор в сочетании с предложенным программным обеспечением позволяет практически обрабатывать вопросы оперативного исследования адаптационных возможностей организма человека с целью получения новых важных дополнительных знаний о состоянии его здоровья, востребованных во многих практических случаях.

3. Предварительно испытанный вариант модуля допускает совмещение традиционного анализа плетизмограмм и гистограмм ЧСС с оперативной оценкой адаптационных возможностей организма человека.

4. Схемное решение для исследовательского модуля, решения по программному обеспечению подтверждены пробными испытаниями – получением первичной измерительной информации и обработкой данных.

5. Получение первичной измерительной информации в указанных исследованиях имеет три характерных этапа: одна минута - на оценку начального значения ЧСС, 5-7 минут - на наблюдение проявления приспособительной реакции, минута - на фиксацию завершения адаптационного процесса.

6. Использование более совершенных моделей реакций, например, структурно-функциональных, позволит сократить время тестирования.

7. Значительные преимущества следует ожидать при использовании в составе модуля спортивного пульсометра НВ 8М00.

8. Проведенные разработки дают материал для уточнения функций модуля и разработки графического интерфейса пользователя.

### Литература

1. Антамонов М.Ю., Математическая обработка и анализ медико-биологических данных/ М.Ю. Антамонов - М.: Наука, 2005. – 60-340 с.
2. Дюк В., Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. / В. Дюк, В. Эммануэль - СПб.: Питер, 2003. – 312-333 с.
3. Проведение пробы с физической нагрузкой : методические рекомендации/ В.П. Лупанов, В.С. Гасилин – СПб.: Санкт-Петербург, 2003. – 6-15с.
4. Пульсоксиметрия: физические принципы и применение в медицине: методические рекомендации/ Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова физический факультет кафедра медицинской физики – М.: Наука, 2008. – 3-8с.
5. Соломенцев Д.В., Шуляк А.П. Моделирование приспособительных реакций и варианты применения структурно-функциональных моделей в медицинских исследованиях // Электроника и связь. Тематический выпуск “Электроника и нанотехнологии”, Киев, 2010, ч.5, с. 170-176.

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»*