

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ГИТОН ДЛЯ УСТАНОВКИ ОБЩЕЙ ГИПЕРТЕРМИИ

**Е. А. Барсуков, Ю. В. Голубев, А. А. Конопелько,
С. Н. Семенович, И. П. Стецко**

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

E-mail: stetsko@bsu.by

Представлен контрольно-измерительный комплекс для медицинской установки общей электромагнитной гипертермии, позволяющий в автоматическом режиме проводить процедуры, регистрировать температуру различных участков тела и документировать необходимые параметры процедуры и действия медперсонала.

Ключевые слова: контрольно-измерительный комплекс, измерение температуры, общая гипертермия.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из самых актуальных задач в медицине – борьба со злокачественными новообразованиями. При этом применяются оперативное вмешательство, облучение, химио- и иммунотерапия. Повышенное внимание врачей привлечено к гипертермии – лечению опухолей путем принудительного контролируемого нагревания тканей тела человека до температуры, превышающей нормальную температуру [1].

Длительное гипертермическое воздействие на ткани пациента осуществляют, как правило, с помощью электромагнитного (ЭМ) излучения микроволнового и радиочастотного диапазонов [2]. Это требует длительного непрерывного контроля мощности ЭМ-излучения и прецизионного контроля температуры различных частей тела, что затруднительно без использования автоматизированных электронных измерительных и регулирующих устройств.

МЕТОДИКА ПРОЦЕДУРЫ И УСТАНОВКА ОБЩЕЙ ГИПЕРТЕРМИИ

Вследствие зависимости глубины проникновения электромагнитного излучения от его частоты предпочтительным является разогрев тела пациента переменным электромагнитным полем с частотой (10...15) МГц. Этот метод позволяет нагревать глубоко-корасположенные ткани человека, не перегревая поверхностные жировые слои. Методика общей ЭМ-гипертермии в онкологии состоит в нагревании тканей пациента до температуры (41,5...42)°С и длительном удержании этой температуры.

Принцип функционирования установки для проведения процедуры гипертермии приведен на рис. 1. Установка представляет собой кушетку для размещения

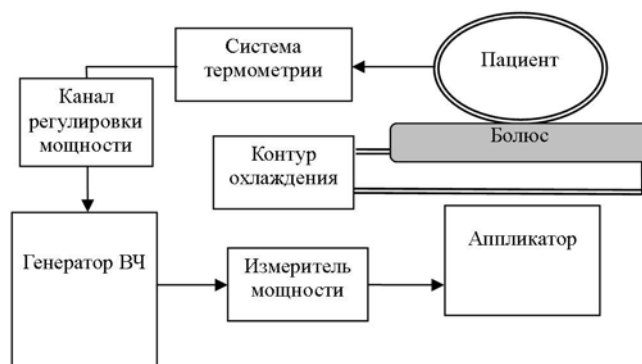


Рис. 1. Установка для проведения процедуры гипертермии

больного, на которой имеется водяная подушка (болус). Внутри кушетки находятся аппликатор (излучатель емкостного типа) и контур системы охлаждения спины пациента, замкнутый с болусом. Для контроля температуры пациента в нескольких характерных точках тела устанавливают термодатчики. Температурный режим процедуры гипертермии состоит из нагревания пациента, поддержания «плато» температуры и остывания. Скорость разогрева – порядка $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, поскольку более быстрый разогрев может вызвать проблемы со стороны сердечно-сосудистой системы. «Плато» ($41,5\ldots 42\text{ }^{\circ}\text{C}$ – по показаниям ректального датчика) является базовым лечебным режимом, длительность которого составляет $80\ldots 120$ мин.

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Функциональная схема аппаратной части разработанного контрольно-измерительного комплекса [3] представлена на рис. 2.

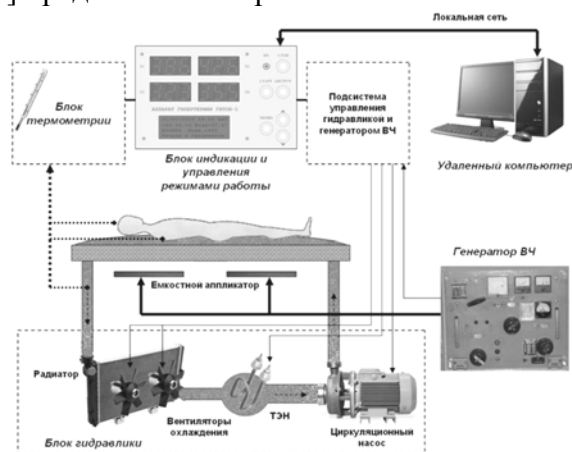


Рис. 2. Функциональная схема аппаратной части комплекса

Блок термометрии измеряет температуру тела пациента в различных точках и температуру воды в болусе. Он имеет несколько каналов измерения температуры и передает другим блокам измеренные значения по каждому каналу. В качестве чувствительных элементов используются термопреобразователи сопротивления, заключенные в защитную оболочку анатомической формы.

Функционирование комплекса и установки общей гипертермии происходит под управлением блока индикации и управления режимами работы, структурная схема которого приведена на рис. 3. Управляющий микроконтроллер с AVR-архитектурой осуществляет постоянный опрос актуальных результатов измерений от блока термометрии и отображает их на светодиодных семисегментных индикаторах для оперативного контроля медперсоналом. Дополнительно к этому на символьный жидкокристаллический дисплей выводятся актуальные результаты измерений текущей мощности ЭМ-излучения, длительности процедуры, информации об этапе процедуры, настройках и режимах работы контура охлаждения. Блок также осуществляет хранение результатов во встроенной энергонезависимой памяти данных, управление режимами работы установки, контроль и управление значением выходной мощности генератора, обработку интерфейса с клавиатурой оператора, индикацию и звуковую сигнализацию о нештатных ситуациях, произошедших в процессе работы. Встроенный контроллер Ethernet обеспечивает работу под управлением удаленного компьютера, подключенного по локальной сети.

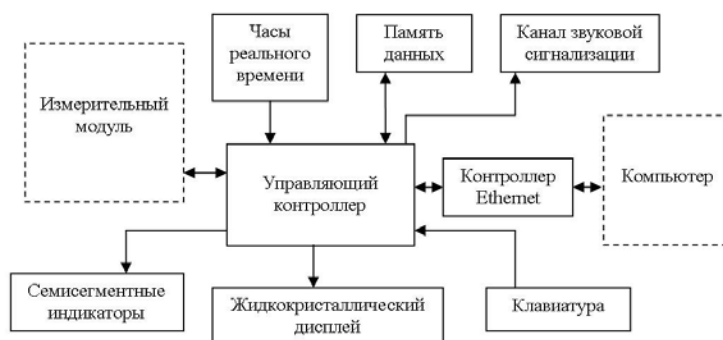


Рис. 3. Блок индикации и управления режимами работы

Блок гидравлики включает в себя болус, контур охлаждения теплоносителя, а также узел предварительного нагрева. Контур охлаждения с помощью радиатора, обдуваемого регулируемым вентилятором, охлаждает воду в болусе во время процедуры, при этом поток теплоносителя через радиатор создается циркуляционным насосом. Перед процедурой гипертермии вода в контуре предварительно нагревается до 36–37 °С. Работа блока гидравлики контролируется блоком управления на основе данных, полученных от блока термометрии.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В качестве операционной системы (ОС) была выбрана ОС реального времени *jasOS*, поскольку для управляющего контроллера имеется ряд независимых и критичных по времени задач, выполнение которых должно осуществляться параллельно. Преимуществами *jasOS* являются бесплатность, низкое потребление ресурсов и наличие всех сервисов, необходимых для создания полноценного приложения [4].

Структура программного обеспечения управляющего контроллера (рис. 4) состоит из шести независимых задач, выполняющихся параллельно.



Рис. 4. Структура программного обеспечения управляющего контроллера

1. *Обмен данными с измерительным модулем* – по последовательному интерфейсу UART контроллер получает сообщения, ставит задачи в очередь, последовательно их обрабатывает, осуществляет запросы измерительному модулю и обрабатывает полученные ответы на запросы.

2. *Индикация* – регулярно обновляет текущие значения температуры на индикаторах температурных каналов и служебных данных на дисплее, выполняет звуковую сигнализацию при возникновении нештатных ситуаций; кроме того, выполняет синхронизацию со встроенными часами реального времени и по данным измерительного модуля вычисляет градиенты температур по всем каналам.

3. *Опрос клавиатуры* – обеспечивает взаимодействие оператора с комплексом; интерфейс с оператором выполнен в виде древовидного иерархического меню, предоставляющего выбор требуемого действия.

4. *Контроль сеанса* – отслеживает время начала, окончания и длительность процедуры, управляет устройствами подсистемы гидравлики (циркуляционный насос, вентиляторы охлаждения, ТЭН) в соответствии с выбранным режимом работы и измеренной температурой характерных точек тела пациента, включает высокое напряжение генератора, переключает режимы работы установки, отслеживает превышение предустановленных температурных порогов; кроме того, регулярно записывает результаты измерений температуры, мощности и дополнительную информацию о процедуре в энергонезависимую память комплекса.

5. *Управление мощностью* – осуществляется по специальному алгоритму последовательного приближения с использованием обратной связи от канала измерения эквивалентного напряжения на шунте индикатора мощности в составе высокочастотного генератора. Достоинство алгоритма регулирования, основанного на отслеживании градиента температуры вблизи предустановленной температуры плато и сравнении его с предустановленным, заключается в нечувствительности его к изменяющимся от процедуры к процедуре условиям.

6. *Обмен данными с удаленным компьютером* – осуществляет связь с удаленным компьютером по локальной сети. Контроллер Ethernet является сервером, удаленный компьютер – клиентом. Программа мониторинга, запущенная на удаленном компьютере, устанавливает соединение с комплексом и начинает отправлять запросы, с помощью которых может получать актуальные результаты измерений температуры, мощности и данные о предыдущей процедуре из памяти устройства, конфигурировать установку перед началом новой процедуры, управлять мощностью излучения в процессе процедуры, а также калибровать измерительные каналы.

Пример отчета о результатах автоматического выполнения процедуры общей гипертермии представлен на рис. 5.

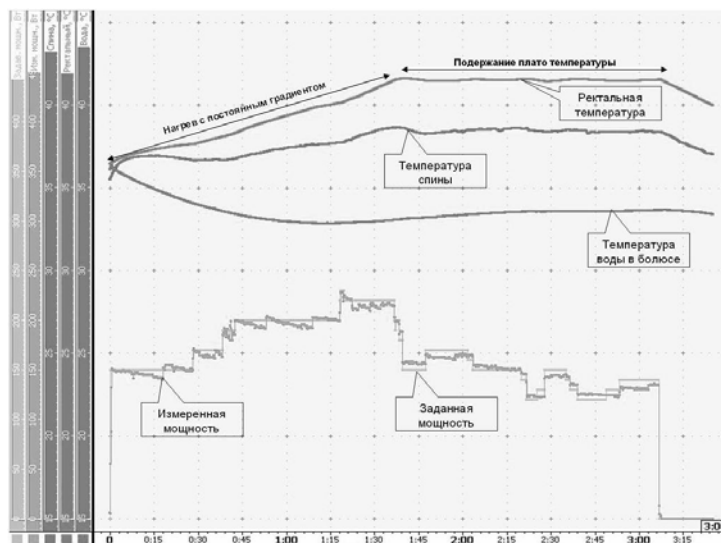


Рис. 5. Результат выполнения процедуры общей гипертермии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный контрольно-измерительный комплекс для установки общей гипертермии [3] имеет встроенный ARM-процессор и работает под управлением операционной системы реального времени. Он обеспечивает автоматизацию процесса измерения температуры и контроля мощности электромагнитного излучения с возможностью удаленного мониторинга. Комплекс обеспечивает измерение температуры одновременно по 8 каналам в диапазоне от 20 до 50 °С с разрешением 0,1 °С; вывод результатов на табло, их регистрацию и документирование на удаленном компьютере; управление мощностью ВЧ-генератора, гидравлическим контуром охлаждения и всеми режимами процедуры, а также сигнализацией о нештатных ситуациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фрадкин, С. З. Современное состояние гипертермической онкологии и тенденции ее развития С. З. Фрадкин. Минск.: Медицинские новости, 2004. № 3. С. 3–8.
- 2.. Медико-техническое обеспечение общей гипертермии в комплексном лечении злокачественных новообразований: Метод. рекомендации / С. З. Фрадкин [и др.] Минск. ГУ НИИ ОМР им. Н. Н. Александрова, 2001. 34 с.
3. Провести исследования, разработать, изготовить и ввести в эксплуатацию компьютеризированный измерительно-управляющий комплекс «ГИТОН» на базе установки общей гипертермии «Птичь». Отчет о НИР № 14831 (заключит.) / БГУ; Науч. рук. вед. науч. сотр., канд. тех. наук, С.Н. Семенович; № ГР 20101099. Минск: БГУ, 2011. 21 с.