

УДК 621.386.12; 681.518.3

А.Л. Павленко, П.С. Боев, Н.М. Федотов

## Разработка системы управления рентгеновского ротационного комплекса

Представлены результаты разработки системы управления, алгоритма и программного кода для контроллера, обеспечивающих управление режимами работы и позиционирования рентгеновского ротационного комплекса, вычисление дозы облучения и калибровку.

**Ключевые слова:** рентгеновский ротационный комплекс, система управления, доза на площадь, радиационный выход, калибровка.

**Постановка задачи.** Рентгеновский ротационный комплекс (РПК) [1] предназначен для выполнения продолжительных рентгеноскопически контролируемых интервенционных процедур, включая такие, при проведении которых существует риск получения довольно высоких уровней кожных доз, способных вызвать неблагоприятные эффекты.

РПК применяется для визуализации операционного пространства и хирургического инструмента в общей хирургии, нейрохирургии, ортопедии и травматологии. В сердечно-сосудистой хирургии комплекс применяется при выполнении эндоваскулярных вмешательств по лечению аритмий сердца и нарушению коронарного кровоснабжения и проведения цифровой субтракционной ангиографии (ЦСА). В режиме непрерывного просвечивания – для слежения за положением хирургического инструмента и визуализации операционного пространства. В импульсном режиме просвечивания – для получения рентгеновских изображений коронарных сосудов сердца и легочных вен левого предсердия во время введения в них рентгеноконтрастного вещества.

Управляющим компонентом РПК (рис. 1) является контроллер Saia-Burgess PCD2.M150 (контроллер) [2, 3], который осуществляет управление и поддерживает взаимосвязь между всеми частями комплекса. Контроллер с помощью имеющихся в нем входов-выходов управляет рентгеновским питающим устройством (РПУ), которое, в свою очередь, задает ток накала катода рентгеновского излучателя (моноблока) и напряжение на аноде моноблока с использованием цепи обратной связи по току и напряжению анода. Размер и форма пучка генерируемого рентгеновского излучения задаются коллимационным устройством (коллиматором) [4], который связан посредством интерфейса RS-232 с контроллером. В качестве приемника рентгеновского излучения выступает Philips FLXIS Fluoro Image Intensifier / TV (FLXIS) [5], управление которым производится с помощью интерфейса RS-232. Изображение, получаемое на регистраторе рентгеновского излучения FLXIS, передается в

аналоговой форме или посредством протокола Ethernet на рабочую станцию (PC). Связь между контроллером и PC осуществляется посредством интерфейса RS-232. Для быстрого доступа к основным настройкам рентгеновского комплекса имеется дистанционный пульт управления.

Комплекс должен обеспечивать работу в следующих режимах:

- низкодозовый непрерывный режим;
- непрерывный режим высокого разрешения;
- импульсный режим.

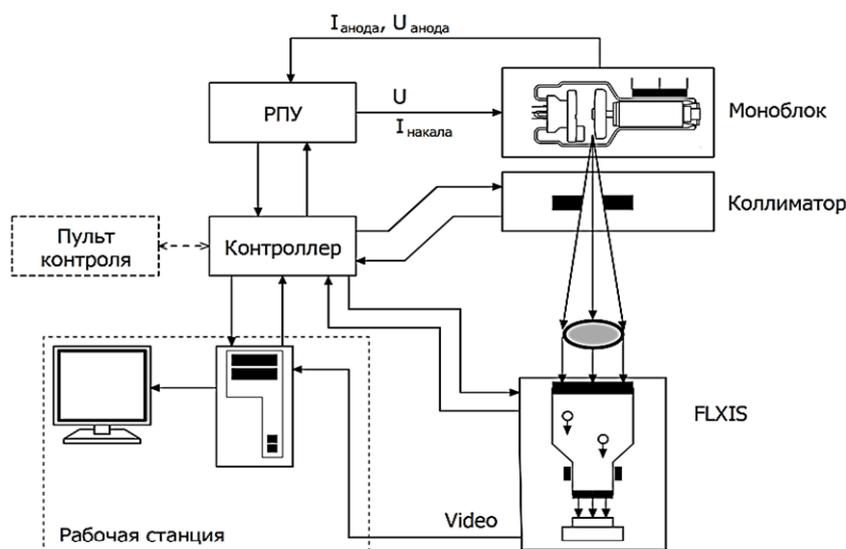


Рис. 1. Структура комплекса

Целью работы является автоматизация управления представленного рентгеновского комплекса путем разработки алгоритма и программного кода на языке встраиваемого контроллера типа Saia-Burgess PCD1 (или PCD2) для управления режимами излучения, контроля дозиметрических характеристик и обмена данными с рабочей станцией комплекса.

**Результаты работы.** В настоящей работе представлены материалы разработки системы управления рентгеновского ротационного комплекса для интервенционных процедур «Биоток-XR», предназначенной для автоматизации режимов его работы.

Блок-схема разработанного алгоритма управления приведена на рис. 2. При включении питания установки алгоритм управления производит начальную инициализацию устройств РПК.

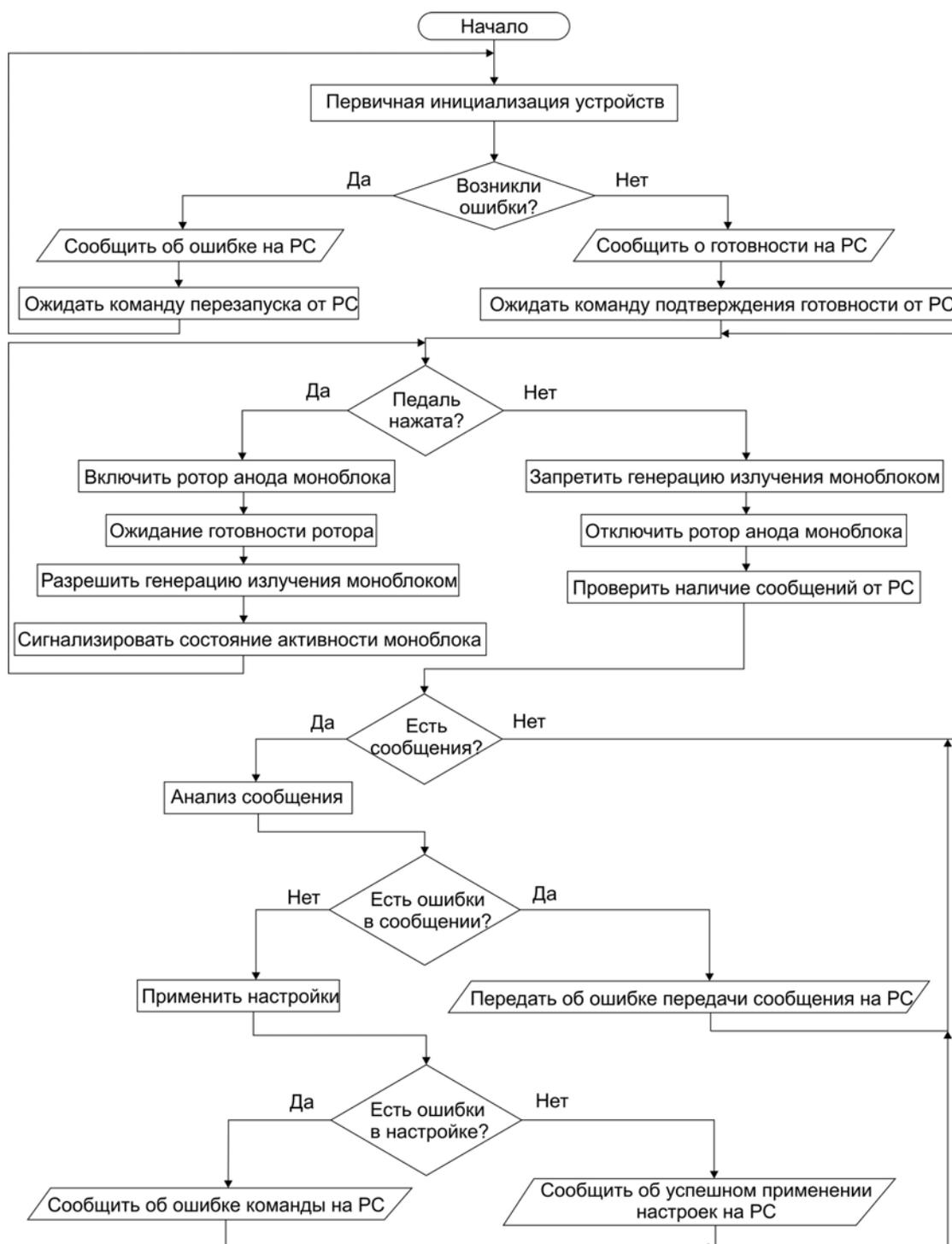


Рис. 2. Алгоритм инициализации и основного цикла программы управления рентгеновским ротационным комплексом

Затем производится:

- перевод коллиматора в начальное положение; настройка параметров FLXIS для работы в качестве ведущего устройства, для генерации управляющего сигнала на РПУ и задание его параметров, соответствующих непрерывному излучению;
- установка чувствительности детектора заданием значения дозы на кадр;
- включение предварительного разогрева катода для сокращения времени задержки излучения при обследовании и
- задание начального выходного напряжения излучателя (70 кВ).

Генерация излучения начинается при нажатии педали, подключенной к цифровому входу контроллера. При нажатии на педаль осуществляется задержка подачи команды на излучение, пока раскручивается анод рентгеновской трубки, что составляет 200 мс при малых мощностях излучения и 800 мс при больших. После задержки на РПУ подается сигнал, разрешающий излучение. Пока нажата педаль, контроллер с помощью звукового устройства производит звуковой сигнал, который сигнализирует о том, что в данный момент генерируется рентгеновское излучение.

Когда педаль отпущена, контроллер запрещает генерацию излучения, останавливает ротор и прекращает звуковой сигнал. После этого контроллер проверяет входной буфер на наличие поступивших команд и, если таковые имеются, переходит к их анализу. Если команда корректна, то контроллер ее выполняет и отправляет на РС сообщение об успешном выполнении команды.

Помимо блока управления режимами излучения, также разработаны блок управления ротацией и позиционирования, блок, который осуществляет расчет температурного режима моноблока и анода рентгеновской трубки для предотвращения их перегрева, а также блок расчета дозы на площадь и мощности на площадь на основе экспериментально полученной закономерности радиационного выхода моноблока (рис. 3) и времени излучения.

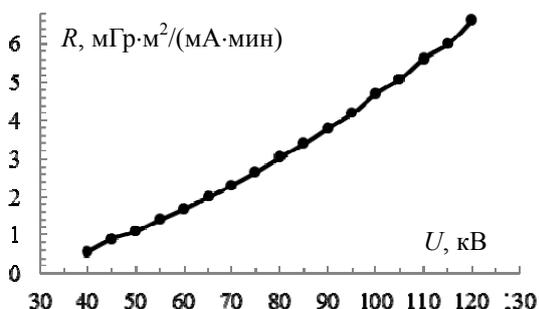


Рис. 3. Зависимость радиационного выхода от напряжения на моноблоке

Код программы управления написан на языке Saia II. Для удобства анализа поступающих команд используется специальный формат сообщения: `<$><НФ><Т><У><ОпКод><Значение><КС><CR>`.

Расшифровка полей сообщений следующая: `<$>` – ASCII символ американского доллара (десятичное значение – 36); `<НФ>` – порядковый номер команды (номер фрейма), состоит из двух ASCII символов в диапазонах от «0» до «9» и от «A» до «F» (т.е. шестнадцатеричное представление номера фрейма); `<Т>` – тип сообщения (С – команда с РС, E – ответ контроллера); `<У>` – номер устройства, 1 ASCII символ (0 – FLXIS, 1 – коллиматор, 2 – РПУ); `<ОпКод>` – код операции, 1 ASCII символ (для каждого устройства существует определенный набор операций (команд)); `<Значение>` – параметр операции, 4 ASCII символа в диапазоне от «0» до «9»; `<КС>` – контрольная сумма символов предшествующих полей сообщения, 2 ASCII символа, строковое представление шестнадцатеричного числа; `<CR>` – знак переноса строки, 1 ASCII символ (десятичное значение 13).

- Метод измерения радиационного выхода комплекса:
  - С помощью дозиметра, например Unfors Xi (Швеция), измерить мощность дозы  $P$  в плоскости УРИ для разных напряжений анода через каждые 5 кВ в диапазоне от 40 до 120 кВ.
  - Полученную мощность дозы в плоскости УРИ умножить на квадрат расстояния от фокусного пятна до точки измерения  $r^2$ .
  - Полученное значение разделить на ток анода  $I$ , что будет представлять собой радиационный выход:

$$R = \frac{P \cdot r^2}{I} \left[ \frac{\text{мГр} \times \text{м}^2}{\text{мА} \times \text{мин}} \right].$$

Радиационный выход необходимо определять один раз в год или после смены моноблока.

- Для нахождения поглощенной дозы в интервенционной опорной точке (ИОТ) вычисляется интегральное значение по времени и току анода для значения радиационного выхода в ИОТ:

$$D = \frac{R \cdot t \cdot I}{r^2} [\text{мГр}],$$

где  $R$  – радиационный выход [мГр·м<sup>2</sup>/(мА·мин)];  $t$  – время экспозиции в минутах [мин];  $I$  – ток анода [мА];  $r^2$  – квадрат расстояния от фокуса до интервенционной опорной точки в метрах (в нашем случае – 0,5 м; определяется как расстояние от фокусного пятна до точки, расположенной на расстоянии 15 см от изоцентра в сторону фокусного пятна излучателя) [м<sup>2</sup>].

- Вычисление мощности дозы в ИОТ:

$$P = \frac{D}{\Delta t} [\text{мГр/с}].$$

- Вычисление произведения дозы на площадь.

Определяется для конкретной точки на оси пучка излучения.

$$D \cdot S = \frac{R \cdot t \cdot I \cdot S}{r^2} [\text{мГр} \times \text{см}^2],$$

где  $R$  – радиационный выход [мГр·м<sup>2</sup>/(мА·мин)];  $t$  – время экспозиции в минутах [мин];  $I$  – ток анода [мА];  $S$  – площадь сечения пучка излучения в точке измерения (в нашем случае в плоскости УРИ на расстоянии 1 м от фокуса); для  $\varnothing 23$  см – 414,5 см<sup>2</sup>,  $\varnothing 17$  см – 227 см<sup>2</sup>,  $\varnothing 14$  см – 154 см<sup>2</sup>;  $r^2$  – квадрат расстояния от фокуса до точки измерения (в нашем случае  $r = 1$  м).

Особенностью произведения дозы на площадь является его независимость от расстояния до фокусного пятна, что позволяет использовать его для определения дозы, получаемой персоналом и пациентом в любом месте с помощью карт изокерм (рис. 4) путем умножения дозы на площадь на нормированное значение изокермы в заданной точке. Карты изокерм построены по методике [6] по экспериментальным данным дозиметрических измерений.

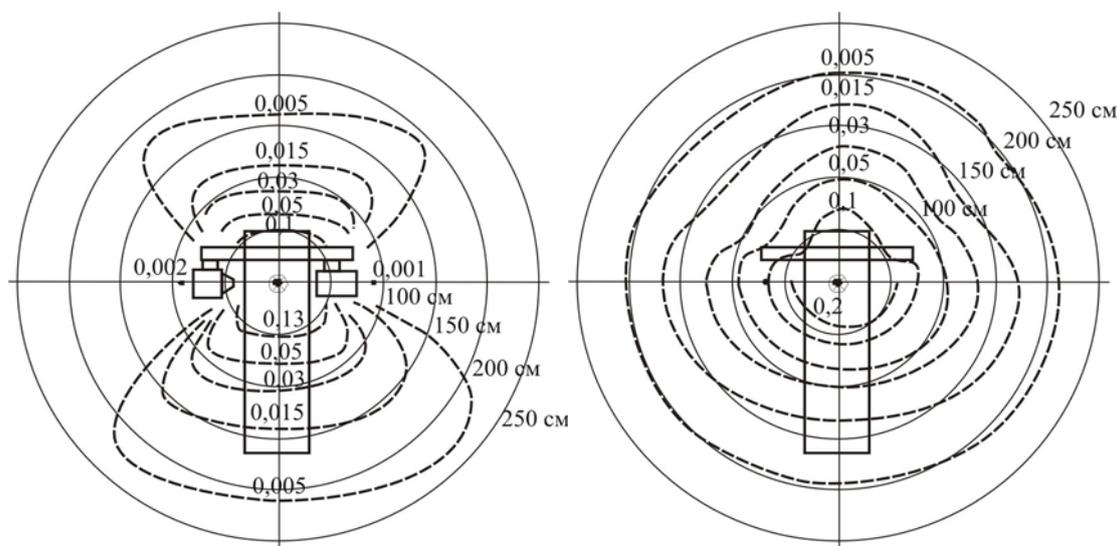


Рис. 4. Нормированные карты изокерм комплекса, единица измерения: [мкГр/(мкГр·м<sup>2</sup>)]. Слева – горизонтальное расположение комплекса, справа – вертикальное. Высота от пола 100 см

**Заключение.** Разработана система управления, представляющая собой многофункциональный интерфейс для управления рентгеновским ротационным комплексом «Биоток-ХР», с помощью которого можно оперативно настраивать комплекс на определенные режимы работы, используемые для диагностики во время хирургических операций.

#### Литература

1. Разработка ротационного рентгеновского аппарата с кольцевым штативом для оперативного создания 3D изображений сердца / Н.М. Федотов, А.И. Оферкин, А.И. Буллер и др. // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2 (22), ч. 2. – С. 97–101.
2. Hardware Manual PCD1/PCD2 Series, Edition EN18 – 2010-02-15 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ibcsol.ru/catalogues/SAIA/PCD1\\_2Manual\(en\).pdf](http://ibcsol.ru/catalogues/SAIA/PCD1_2Manual(en).pdf), свободный (дата обращения: 28.09.2012).
3. Reference Guide SAIA PCD. – 2000. – P. 257 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.enautica.pt/publico/professores/Baptista/Automacao/RefGuidePCD.pdf>, свободный (дата обращения: 28.09.2012).

4. R605 DASM Radiological Collimating System. – 2001. – Р. 29 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ralco.it/files/201211/14/R605%20DASM%20Brochure.pdf>, свободный (дата обращения: 28.09.2012).

5. Philips Image Intensifiers & II/TV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.x-alliance.com/products/image-intensifiers-ii/ii\\_tv](http://www.x-alliance.com/products/image-intensifiers-ii/ii_tv), свободный (дата обращения: 28.09.2012).

6. ГОСТ Р МЭК 60601-2-43–2008. Изделия медицинские электрические. – Ч. 2-43. Частные требования безопасности к рентгеновским аппаратам для интервенционных процедур. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/47/47974.shtml>, свободный (дата обращения: 28.09.2012).

---

**Павленко Александр Леонидович**

Инженер ООО «Лаборатория медицинской электроники «Биоток», г. Томск

Тел.: +7-952-152-33-01

Эл. почта: [pavlenko.sanya@sibmail.com](mailto:pavlenko.sanya@sibmail.com)

**Боев Павел Сергеевич**

Инженер ООО «Лаборатория медицинской электроники «Биоток»

Тел.: +7-923-440-37-97

Эл. почта: [pavlenko.sanya@sibmail.com](mailto:pavlenko.sanya@sibmail.com)

**Федотов Николай Михайлович**

Канд. техн. наук, зав. лабораторией безопасных биомедицинских технологий ЦТБ ТУСУРа

Тел.: +7-923-404-99-59

Эл. почта: [n.m.fedotov@gmail.com](mailto:n.m.fedotov@gmail.com)

Pavlenko A.L., Boev P.S., Fedotov N.M.

**The development of the control system for the rotary x-ray complex**

This article is dedicated to the development of the control system for the rotary x-ray complex. The developed software for the microcontroller provides control of the complex mode of operation and positioning. It also calculates the exposure dose and makes calibration.

**Keywords:** rotary x-ray complex, control system, dose per area.

---