

## РЕАЛИЗАЦИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ДВУХПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ ФАНТОМОМ НОВОРОЖДЕННОГО

К. С. Савинова, Д. Ю. Ковалева, С. В. Фролов

*Тамбовский государственный технический университет,  
Российская Федерация*

*Представлено исследование систем позиционного управления для задач поддержания параметров в гидродинамическом неонатальном фантоме в целях имитации процессов терморегуляции в организме недоношенного новорожденного. Приведены результаты экспериментов, необходимые для обоснования выбранного алгоритма усовершенствованного двухпозиционного управления параметрами гидродинамического неонатального фантома.*

**Ключевые слова:** неонатальный инкубатор, неонатальный фантом, терморегуляция, микроклимат, позиционное управление.

## IMPLEMENTATION OF AN IMPROVED ON-OFF CONTROL OF THE HYDRODYNAMIC PHANTOM OF A NEWBORN

K. S. Savinova, D. Yu. Kovaleva, S. V. Frolov

*Tambov State Technical University, Russian Federation*

*This paper presents a study of on-off control systems for maintaining parameters in a hydrodynamic neonatal phantom, with the aim of simulating thermoregulation processes in the body of a premature newborn. Experimental results are presented to validate the selected algorithm for an improved on-off control of the hydrodynamic neonatal phantom's parameters.*

**Keywords:** neonatal incubator, neonatal phantom, thermoregulation, microclimate, on-off control.

Развитие медицинских технологий требует постоянного поиска новых инструментов и методов, направленных на совершенствование диагностики, выхаживания и лечения преждевременно родившихся новорожденных. Одним из методов решения проблемы выхаживания недоношенных детей является внедрение современных методов управления параметрами микроклимата на основе нейронных сетей. Однако успешная интеграция новых методов управления требует глубокого понимания физических и биофизических закономерностей, определяющих взаимодействие ребенка с условиями окружающей среды. Максимально информативным источником сведений служат комплексные математические исследования, проводимые с использованием специализированных анатомически-корректных фантомов новорожденных, воспроизводящих ключевые физиологические процессы. Целью данной работы является разработка и реализация усовершенствованного двухпозиционного алгоритма управления гидродинамическим фантомом новорожденного в целях поддержания заданной температуры кровеимитирующей жидкости и в дальнейшем проведения исследований для оценки эффективности разрабатываемого метода нейросетевого управления параметрами микроклимата в неонатальном инкубаторе.

Анатомически-корректный гидродинамический фантом новорожденного, созданный посредством технологии 3D-печати и последующим литьем силиконом, представляет собой объект, моделирующий процессы терморегуляции в организме новорожденного, через внутренние полости которого циркулирует кровеимитирующая жидкость [1, 2]. Управление тепло-влажностными процессами осуществляется на блоке управления гидродинамическим фантомом новорожденного экспериментальной установки, реализованном на базе одноплатного микрокомпьютера «Raspberry Pi 4 Model B Desktop Kit» на

языке программирования Python, с применением алгоритма усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования [2, 3].

Выбранный алгоритм усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования отличается от классического позиционного управления наличием дополнительного звена обратной связи, что позволяет мгновенно корректировать параметры системы при возникновении возмущений (рис. 1, а). [3]. На рис. 1, б представлена динамика изменения температуры кровеемитирующей жидкости, протекающей внутри полостей гидродинамического неонатального фантома. Введены следующие параметры работы блока управления гидродинамическим фантомом новорожденного экспериментальной установки управления: коэффициент заполнения ШИМ 40 %, гистерезис 1 °С.

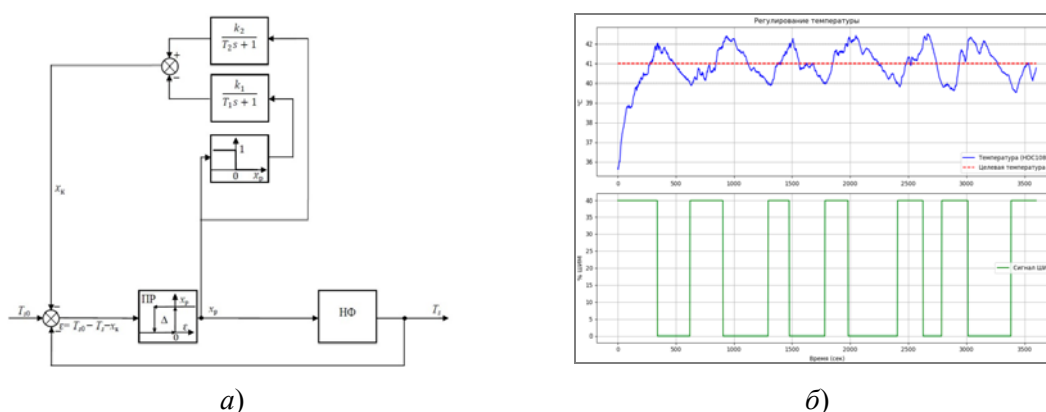


Рис. 1. Структура усовершенствованной двухпозиционной системы управления параметрами неонатального фантома (а) и динамика температуры кровеемитирующей жидкости, циркулирующей через внутренние полости неонатального фантома (б)

Из рисунка 1, б видно, что в течение всего периода времени среднее отклонение температуры от заданного значения 41 °С составляет порядка  $\pm 1$  °С, демонстрируя симметричность осцилляции относительно заданного уровня, за счет применения усовершенствованного двухпозиционно-статического регулирования, что подтверждено серией имитационных и экспериментальных исследований.

Таким образом, представленные данные, полученные в результате имитационных и экспериментальных исследований на разработанной экспериментальной модели неонатального инкубатора нового поколения с изменяемой прозрачностью стенок рабочей камеры, демонстрируют высокую стабильность поддерживаемой температуры кровеемитирующей жидкости с минимальной относительной погрешностью 2,68 %, что превосходит другие виды позиционного регулирования более чем в 2,5 раза.

#### Л и т е р а т у р а

1. Экспериментальная установка для исследования особенностей управления микроклиматом в неонатальных инкубаторах / К. С. Савинова, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов [и др.] // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2024. – Т. 27, № 2. – С. 52–59.
2. Этапы разработки гидродинамического фантома новорожденного для исследования микроклимата в неонатальном инкубаторе / К. С. Савинова, А. А. Коробов [и др.] // ERA – Современная наука: электроника, робототехника, автоматизация : материалы I Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 2024. – С. 75–76.
3. Использование эффективных систем позиционного регулирования для задач медицинской техники / К. С. Савинова, С. В. Фролов, А. Ю. Куликов, И. А. Суконкин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2022. – № 2. – С. 21–24.