

26-2919

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Я. И. Пимушкин, В. А. Соколов

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ контроля и диагностики технологических процессов

26-02912

Учебное пособие

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Я.И. Пимушкин, В.А. Соколов

**Моделирование
и проектирование систем
контроля и диагностики
технологических процессов**

Учебное пособие

Москва
2026

УДК 681.518

ББК 32.96

П 32

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. В.И. Телешевский (кафедра измерительных информационных систем и технологий ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», профессор);

д-р техн. наук, доц. В.С. Тынченко (кафедра «Технологии искусственного интеллекта» ФГАОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет), профессор)

Пимушкин Я.И., Соколов В.А.

П 32 Моделирование и проектирование систем контроля и диагностики технологических процессов: учеб. пособие / Я.И. Пимушкин, В.А. Соколов. – М.: ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2026. – 216 с.: ил.

ISBN 978-5-8037-1004-2

Учебное пособие посвящено вопросам моделирования и проектирования современных систем контроля и диагностики технологических процессов. Рассматривается полный цикл создания таких систем: от общих принципов и методов измерения к математическим основам (булева алгебра, минимизация логических функций) и аппаратной реализации.

Основное внимание уделено цифровым компонентам: программируемым логическим контроллерам (ПЛК), микроконтроллерам и микропроцессорам, их архитектуре и программированию. Подробно описаны проводные (RS-232/485, SPI, I2C, JTAG Modbus) и беспроводные (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi) интерфейсы передачи данных, а также программные средства, включая среды разработки (IDE) и драйверы устройств.

Теоретический материал закрепляется практическими примерами моделирования MATLAB/LabVIEW и проектирования (сборки) системы контроля на базе Arduino.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки «Автоматизированные технологии и производства», «Приборостроение» и «Стандартизация и метрология», а также будет полезно инженерам техническим специалистам.

УДК 681.518

ББК 32.96

© Пимушкин Я.И., Соколов В.А., 2026

© ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2026

ISBN 978-5-8037-1004-2

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	8
1.1. Роль систем контроля и диагностики в технологических процессах	8
1.2. Классификация и структура систем контроля и диагностики	9
1.3. Принципы моделирования и проектирования систем контроля и диагностики	11
1.4. Применение компьютерных технологий при проектировании систем контроля и диагностики	15
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ	18
2.1. Понятие и принципы измерения	18
2.2. Структура измерительного канала	18
2.3. Классификация и принципы действия средств измерений	19
2.4. Метрологические характеристики средств измерений	20
2.5. Методы измерения параметров технологических процессов	21
2.6. Автоматизация и компьютеризация измерений	22
ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ	25
3.1. Двоичная система счисления и основы алгебры логики	25
3.2. Основные понятия алгебры логики	26
3.3. Функции одной переменной	29
3.4. Функции двух переменных	30
3.5. Аксиомы и теоремы алгебры логики	31
3.6. Совершенные дизъюнктивная и конъюнктивная формы функций	33
3.7. Минимизация логических функций, представленных в СДНФ и СКНФ	36
ГЛАВА 4. РЕАЛИЗАЦИЯ ЛОГИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ И ТИПОВАЯ СТРУКТУРА АСУ ТП	43
4.1. Реализация логических алгоритмов в системах автоматики	43
4.2. Типовая структура АСУ ТП	44
4.3. Кодирование сигналов в АСУ ТП	46
4.4. Последовательность синтеза бесконтактных схем	49
4.5. Программируемые логические контроллеры (ПЛК)	50
4.6. Реализация алгоритмов на программируемых контроллерах	51
ГЛАВА 5. МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ	54
5.1. Общие сведения о микроконтроллерах	54
5.2. Обработка и обмен данными	55
5.3. Преобразование сигналов и широтно-импульсная модуляция	56
5.4. Конструктивные особенности и параметры корпуса	57
5.5. Архитектура микроконтроллеров	57
5.6. Вспомогательные блоки микроконтроллера	58
5.7. Пример решения задач на программирование микроконтроллеров на основе ядра AVR ..	59
ГЛАВА 6. МИКРОПРОЦЕССОРЫ	64
6.0. Связь микроконтроллерных и микропроцессорных систем в измерительной технике	64
6.1. Общие сведения о микропроцессорах	67
6.2. Архитектура микропроцессора	69
6.3. Устройства микропроцессорной техники	71
6.4. Специальные режимы работы микропроцессоров	72
6.5. Основы программирования МП-устройств	73
ГЛАВА 7. ИНТЕРФЕЙСЫ И ПРОТОКОЛЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	77
7.1. Параллельный и последовательный интерфейсы	77
7.2. Последовательные интерфейсы RS-232 и RS-485	79

7.3. UART – преобразователь интерфейсов.....	84
7.4. Последовательные шины микроконтроллеров.....	85
7.5. Интерфейс JTAG	96
7.5. Протоколы Modbus и Profibus.....	99
7.6. Примеры применения интерфейсов в измерительных системах	125
7.7. Советы по выбору интерфейса	126
ГЛАВА 8. ИНТЕГРАЛЬНАЯ СРЕДА РАЗРАБОТКИ (IDE) МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ.....	128
8.1. Основные компоненты IDE.....	128
8.2. Популярные IDE для микроконтроллеров.....	129
8.3. Этапы разработки в IDE	131
8.4. Современные тенденции в IDE.....	132
ГЛАВА 9. ДРАЙВЕРЫ УСТРОЙСТВ.....	134
9.1. Основные понятия и функции драйверов.....	134
9.2. Средства разработки драйверов.....	135
9.3. Драйверы USB-устройств.....	135
9.4. Современные тенденции	136
ГЛАВА 10. БЕСПРОВОДНОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.....	138
10.1. Wireless USB (WUSB).....	139
10.2. Bluetooth	142
10.3. ZigBee	144
10.4. Wi-Fi (Wireless Fidelity, IEEE 802.11).....	147
ГЛАВА 11. ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ СОДЕРЖАТЕЛЬНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ АЛГОРИТМОВ (СЛСА).....	151
ГЛАВА 12. ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ MATLAB И LABVIEW.....	163
12.1. Постановка задачи построения цифрового двойника измерительной системы	163
12.2. Принцип работы тензометрического датчика и информационно-измерительной системы.....	165
12.3. Моделирование работы информационно-измерительной системы в MATLAB	166
ГЛАВА 13. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СБОРКИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	176
13.1. Постановка задачи.....	176
13.2. Проектирование информационно-измерительной системы диагностики уровня кислорода при выполнении процесса селективного лазерного плавления	179
13.2.1. Структурная схема разрабатываемой информационно-измерительной системы (ИИС).....	179
13.2.2. Выбор компонентов ИИС.....	180
13.2.2.1. Электрохимический датчик кислорода.....	180
13.2.2.2. Микроконтроллеры.....	182
13.2.2.3. Соединение датчика и микроконтроллера	183
13.2.2.4. Соединение нескольких устройств беспроводным способом	184
13.3. Тестирование информационно-измерительной системы диагностики уровня кислорода при выполнении процесса селективного лазерного плавления	192
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	205
ГЛОССАРИЙ ОСНОВНЫХ АББРЕВИАТУР И ТЕРМИНОВ	206
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	213

"А чем вы занимаетесь?" – спросил я.
"Как и вся наука, – сказал горбоносый. – Счастьем человеческим."

*«Понедельник начинается в субботу»
Аркадий и Борис Стругацкие*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаем читателям учебное пособие, которое является расширенным курсом лекций, разработанным для студентов технических университетов. Объем и содержание знаний, представленных в данном издании, полностью соответствуют требованиям современных Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) высшего образования.

Материал пособия структурирует и дополняет изложение лекций по ключевым дисциплинам: «Компьютерные технологии в приборостроении», «Информационно-измерительные системы», «Основы проектирования систем контроля», «Цифровая схемотехника», «Микропроцессорные системы», «Интерфейсы передачи данных» и «Программирование встраиваемых систем».

Пособие построено по логике «снизу-вверх» – от математических основ цифровой логики и булевой алгебры (Глава 3) до практической реализации алгоритмов на ПЛК и микроконтроллерах (Главы 4–6). Детально рассматриваются аппаратные и программные компоненты, необходимые для построения завершенной системы: интерфейсы (Глава 7), среды разработки (Глава 8), драйверы (Глава 9) и беспроводные технологии (Глава 10).

Завершающие главы (11–13) посвящены практическим примерам моделирования и сборки систем, что позволяет закрепить теорию и продемонстрировать применение полученных знаний.

Мы надеемся, что данное издание послужит надежным и современным фундаментом для освоения будущими инженерами навыков анализа, выбора и проектирования высокоэффективных систем контроля и диагностики, отвечающих вызовам современной промышленности.