

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

УДК: 681.516.3(043)

На правах рукописи

МУСАБЕКОВ НАЗАРБЕК РАСУЛБЕКОВИЧ

**Синтез гибридной системы управления сложным технологическим
комплексом медеплавильного производства**

6D070200 – Автоматизация и управление

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научный консультант:
кандидат технических наук,
ассоц. профессор
Ибраев А.Х.

Соруководитель
доктор технических наук,
профессор
Утепбергенов И.Т.,

Зарубежный научный консультант
Associate professor, PhD (ассоц.
профессор, доктор PhD)
Andrzej Smolarz

Республика Казахстан
Алматы, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ФОРМУЛИРОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ СОЗДАНИЯ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	14
1.1 Оценка технического состояния технологического комплекса медеплавиль- ного производства	14
1.1.1 Концепция и определение понятия гибридной системы	15
1.1.2 Структура гибридной системы управления	15
1.2 Нейро-нечеткие (гибридные) технологии интеллектуальных систем	18
1.3 Описание технологического процесса плавки Ванюкова	20
1.3.1 Описание технологии плавки медных концентратов в печи Ванюкова	20
1.3.2 Характеристика технологического комплекса плавки Ванюкова как объекта управления	22
1.3.3 Анализ современного состояния автоматизации процесса в печи Ванюкова	27
1.4 Постановка задач исследований	29
1.5 Заключение по разделу	29
2 РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИНТЕЗА ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВКИ ВАНЮКОВА КАК СЛОЖНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	30
2.1 Разработка концепции синтеза гибридной систем управления.....	30
2.2 Описание программно-технических средств для гибридной системы управления в промышленных условиях	33
2.3 Существующая практика управления режимами в ТК ПВ на Балхашском медеплавильном заводе.....	35
2.4 Заключение по разделу.....	37
3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВКОЙ ВАНЮКОВА.....	38
3.1 Математическое описание технологического режима.....	38
3.2 Математическая модель технологического комплекса.....	39
3.2.1 Структура модели технологического режима комплекса	41
3.2.2 Структура модели теплового режима комплекса	45
3.3 Реализация компьютерной модели управления тепловым и материальным режимами процесса плавки	47
3.4 Постановка задачи синтеза гибридного управления	50
3.5 Разработка алгоритма синтеза системы управления сложным техноло- гическим комплексом плавки Ванюкова.....	50
3.6 Заключение по разделу.....	52