

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

УДК 621.311.245

На правах рукописи

БЕКБОЛАТОВА ЖАННАТ КАЙЫРОВНА

**Исследование стратегий рыночной интеграции объектов возобновляемых
источников энергии и оценка их воздействия на устойчивость работы
энергосистемы Казахстана**

8D07112 – Электроэнергетика

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Отечественный научный консультант
доктор PhD,
ассоциированный профессор
Е.А. Сарсенбаев

Зарубежный научный консультант
доктор технических наук,
академик
Г.Г. Трофимов
(Израиль)

Республика Казахстан
Алматы, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	4
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
1.1 Анализ топливно-энергетического баланса и энергопотребления в Казахстане.....	12
1.2 Оценка роли возобновляемых источников энергии в Казахстане.....	17
1.3 Анализ исследуемой территории.....	21
Выводы по разделу 2.....	22
2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ВИЭ.....	24
2.1 Методология исследования.....	24
2.2 Метод временных рядов ARMA.....	26
2.3 Сокращение сценариев.....	29
2.4 Преобразование скорости ветра в энергию ветра.....	30
2.5 Проверка погрешности.....	33
2.6 Результаты моделирования.....	34
Выводы по разделу 2.....	38
3 ИССЛЕДОВАНИЕ СТРАТЕГИИ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ ОБЪЕКТОВ ВИЭ.....	40
3.1 Исследование гибкости управления рынком электроэнергии в условиях роста возобновляемых источников.....	40
3.2 Методы и материалы	45
3.2.1 Анализ рынка продаж возобновляемой энергии.....	45
3.2.2 Математическая модель оптимизации продаж электроэнергии виртуальной электростанцией.....	46
3.2.3 Оптимизация энергетических параметров VPP с использованием стохастического моделирования.....	46
3.2.4 Модель системы накопителей в интеграции ВИЭ	49
3.2.5 Экономическая модель VPP.....	50
3.3 Торговля VPP.....	51
3.4 Результаты	53
3.4.1 Эксплуатация системы накопителей	53
3.4.2 Эксплуатация VPP.....	54
3.4.3 Эксплуатация VPP и системы хранения.....	58
3.5 Обсуждение.....	59
Выводы по разделу 3.....	61
4 ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЦИИ ВИЭ В ТРАДИЦИОННУЮ СЕТЬ.....	63
4.1 Проектирование ветряной электростанции (ВЭС) сравнительный анализ и выбор систем генерирования.....	66
4.2 Подключение ВЭС к электрической сети	67