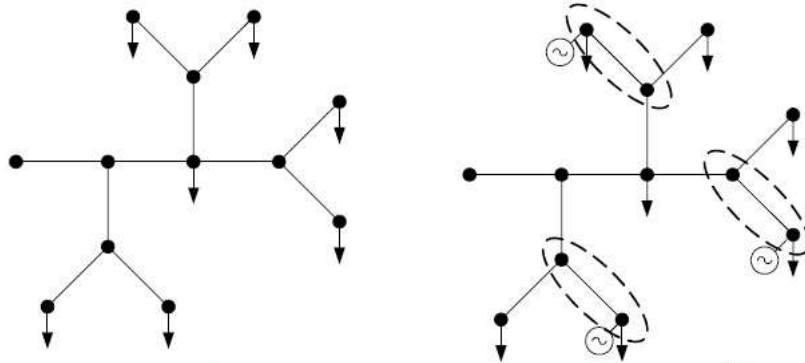




Оценка эффективности концепций регулирования напряжения в электрических сетях с распределенной генерацией

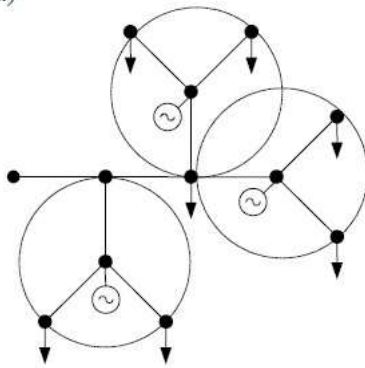
*А.Г. Фишов, Р.Н. Хабибулин, Н.А. Карджаубаев
(НГТУ, Россия)*

РАЗВИТИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

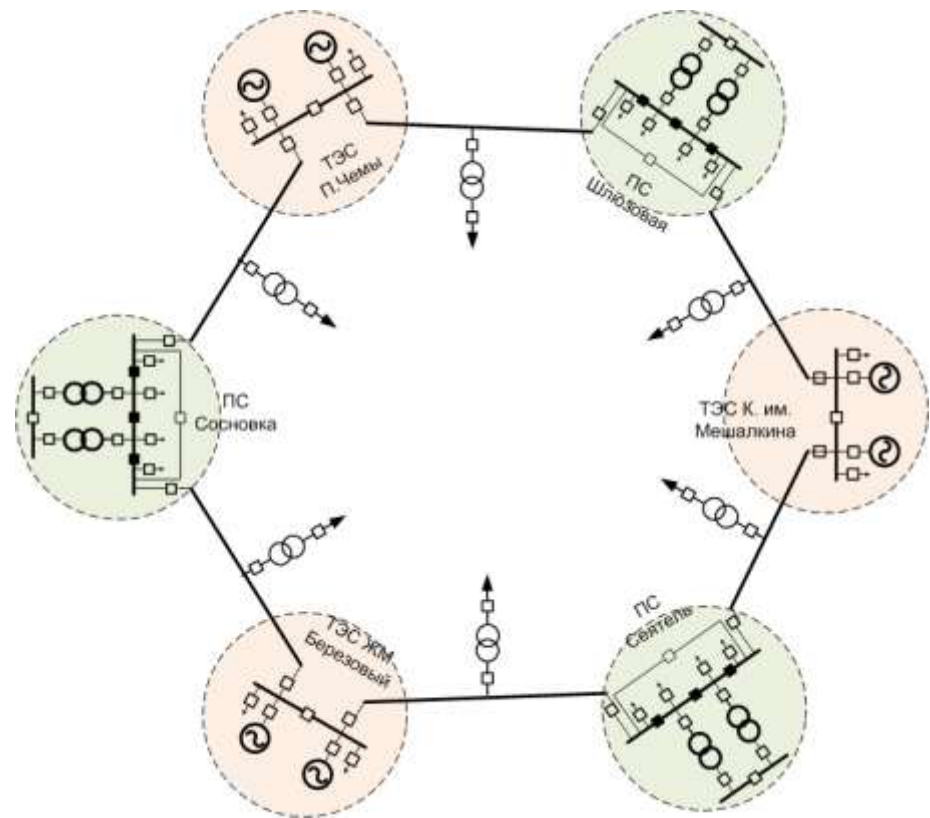


a)

b)



c)



Цели и задачи работы

- Разработать концепцию децентрализованного регулирования напряжения в ЭС с распределенной генерацией мультиагентного типа
- Сформулировать принципы и правила многокритериального мультиагентного регулирования напряжения для поиска компромиссных режимов
- Создать средство моделирования мультиагентного регулирования напряжения
- Разработать методику оценки качества компромиссных режимов напряжения
- Выполнить исследование эффективности децентрализованного регулирования напряжения в ЭС с распределенной генерацией

Цели субъектов распределительных сетей при регулировании напряжения

Сетевая компания

- Максимальный пропуск ЭЭ
- Минимизация потерь
- Выполнение требований по допустимости напряжения и его качеству

Распределенная генерация

- Оптимальное для оборудования и режима генерации напряжение
- Оказание услуг по регулированию напряжения другим субъектам

Потребители

- Качество ЭЭ
- Снижение (оптимизация) электропотребления

Традиционное регулирование осуществляется целиком в интересах сетевой компании

Интересы субъектов по напряжению

Сетевая компания

- Максимальный пропуск ЭЭ
- Минимизация потерь
- Выполнение требований по допустимости напряжения и его качеству

Сетевые генераторы

- Оптимальное для оборудования и режима выработки ЭЭ напряжение
- Оказание услуг по регулированию напряжения другим субъектам

Потребители энергии

- Качество ЭЭ
- Снижение (оптимизация) электропотребления

В традиционных системах регулирование напряжения, как правило, осуществляется целиком в интересах сетевой компании

Концепции регулирования напряжения в распределительных сетях с малой генерацией

Централизованное **offline** регулирование

- Регулирование в центрах питания (ЦП) с постоянными или адаптивными уставками на районных подстанциях (ПС) распределительной сети, определяемыми предварительно (Прогнозирование, планирование). Применяется в сетях с низкой автоматизацией.

Централизованное **online** регулирование

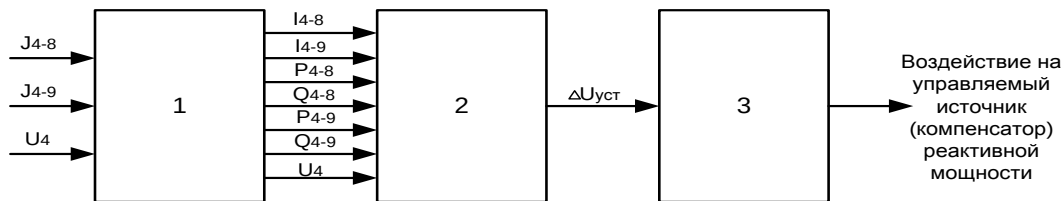
- Централизованное регулирование в режиме реального времени с оптимизацией режима всей сети при полной управляемости.

Децентрализованное **online** регулирование

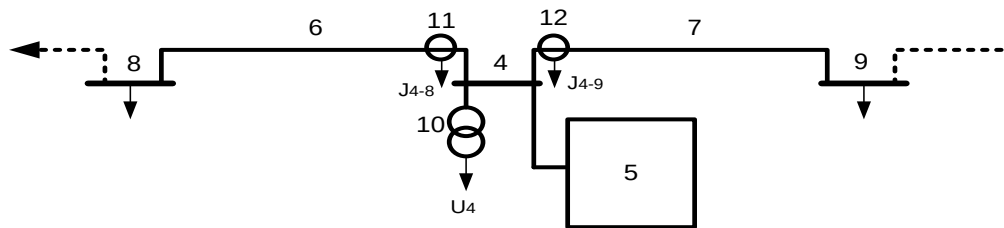
- Децентрализованное регулирование мультиагентного типа. Не нуждается в полной наблюдаемости режима сети.

Централизованное регулирование, как правило, осуществляется целиком в интересах сетевой компании

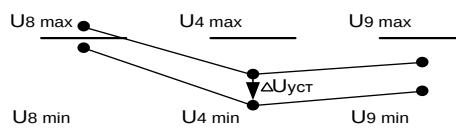
Децентрализованное регулирование с контролем прилегающего района



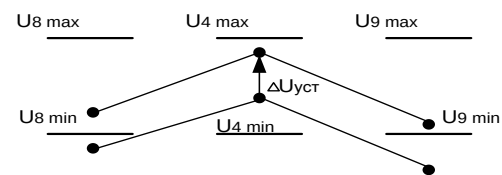
Фиг.1



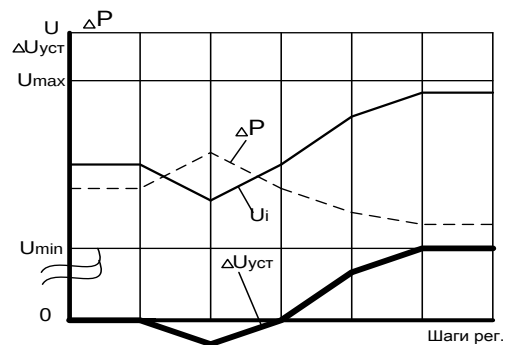
Фиг.2



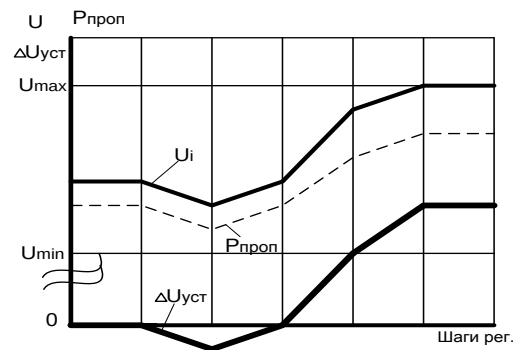
Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5



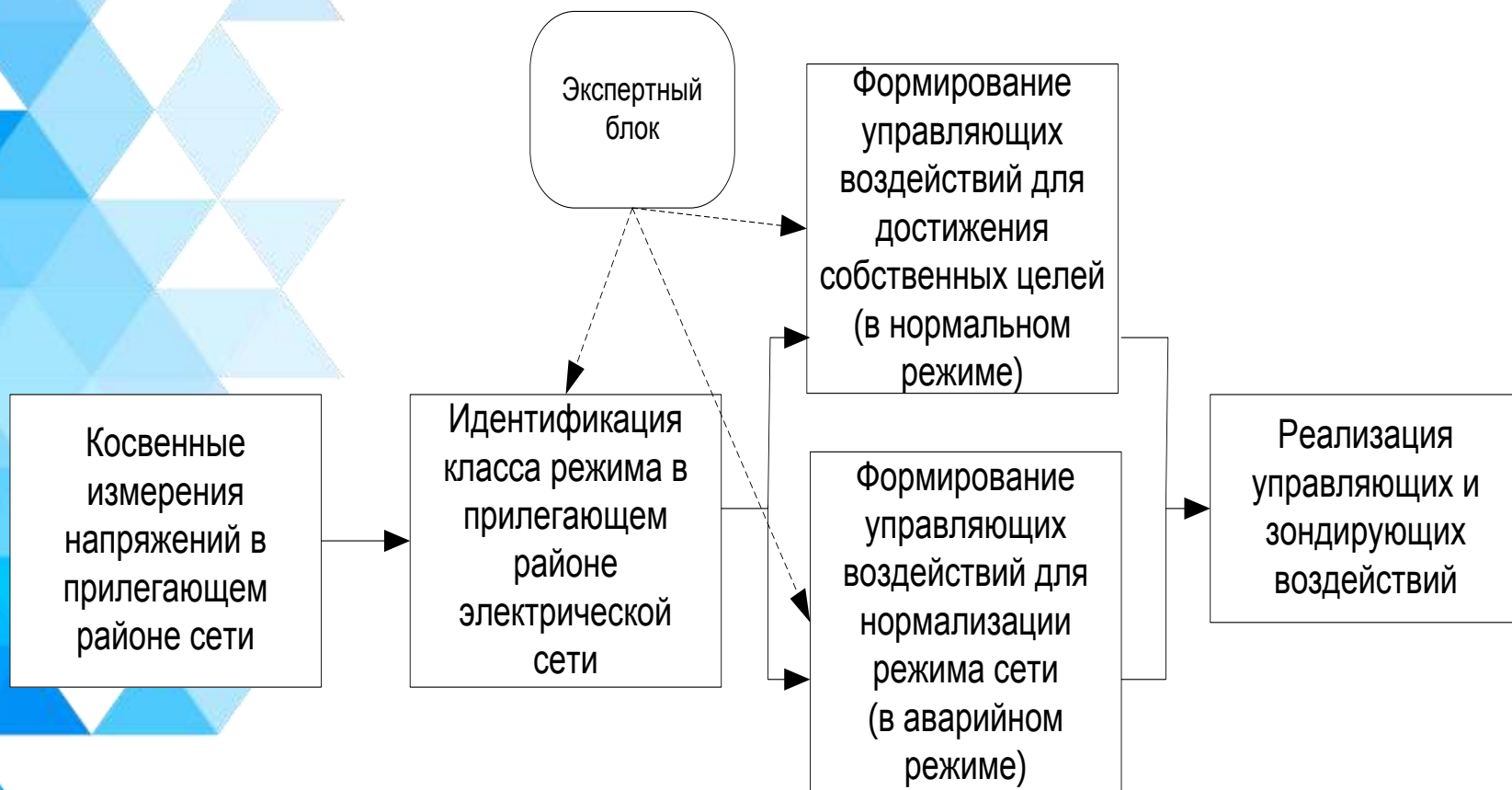
Фиг.6

Децентрализованное регулирование мультиагентного типа (МАР)

Основные принципы:

- В нормальных режимах сети каждый субъект имеет право преследовать собственные цели регулирования, не создавая невозможности достижения целей другим субъектам.
- При нарушениях нормального режима сети поведение субъектов подчиняется цели предотвращения развития и ликвидации возникших нарушений.
- Для достижения целей каждый субъект использует собственные средства регулирования напряжения и доступную локальную информацию о режиме прилегающего района сети, которую он получает на основе косвенных измерений.

Структура интеллектуального локального регулятора



Многокритериальная оптимизация (компромисс интересов)

- **Индивидуальные критерии**

Сетевая компания

$$F1 = \Delta P_{\Sigma}(U) \rightarrow \min$$

Потребитель

$$F2 = \Delta U = |U_i - U_{\text{жел}}| \rightarrow \min$$

$$U_{\text{жел}} = (1-0,95) U_{\text{ном}}$$

Генерация

$$F3 = \Delta P_r(U) \rightarrow \min$$

Общее требование к режиму (Ограничение)

$$U_i \in D$$

- **При скаляризации**

$$F = a_1 \times F_1 + a_2 \times F_2 + a_3 \times F_3 \rightarrow \min$$

- **При децентрализации**

$$F1 \rightarrow \min, F2 \rightarrow \min, F3 \rightarrow \min$$

При соблюдении общих правил

- **Показатели компромисса**

- Коэффициент степени достижения целей для субъекта

$$K_{\text{сд}} = \frac{\sum_{i=1}^k t_i}{T}$$

где

$\sum_{i=1}^k t_i$ — продолжительность режимов, в которых цель субъекта достигнута,

k — число режимов, в которых цель субъекта достигнута,

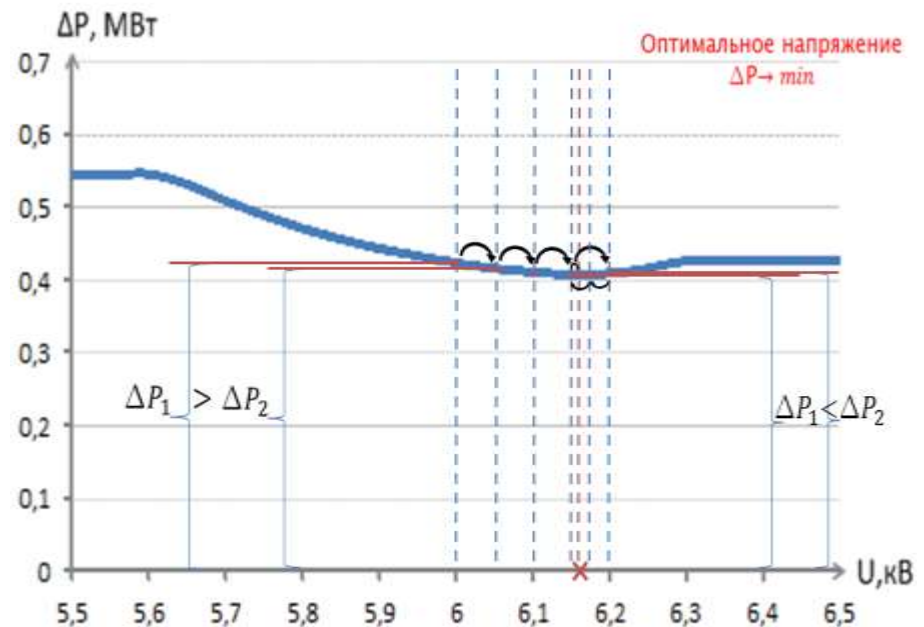
T — общая продолжительность анализируемых режимов

Моделирование режимов ЭС для сравнения концепций

Макрос написан на языке программирования VBScript в среде ПВК RastrWin

Обеспечены:

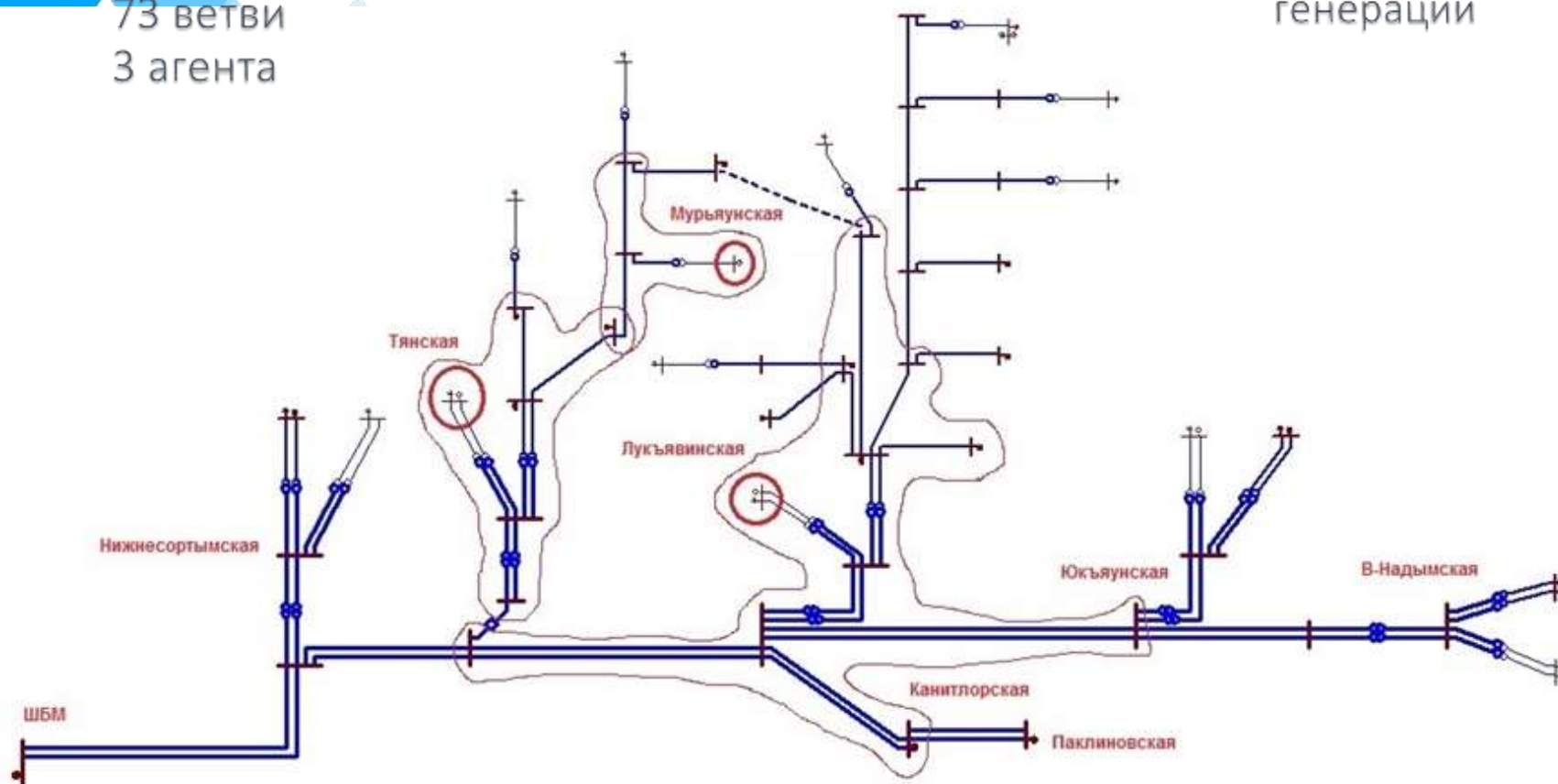
- Расчет режимов с любым количеством агентов
- Возможность задания целей и критериев регулирования, точности расчета, границы допустимых отклонений напряжения
- Результат расчета - режим электрической сети с набором уставок по напряжению локальных регуляторов, а также показатели для разных целей регулирования



Сравнение концепций на примере фрагмента схемы НГДУ «НижнеСортывмскНефть»

51 узел
73 ветви
3 агента

Узлы включения
распределенной
генерации



Результаты сравнения при согласованности целей

Потери электроэнергии в сети

Район, прилегающий к узлу с РГ	Параметр	Способ регулирования		
		Централизованное		МАР
		РПН	РПН+РГ	
Тянская ГТЭС	ΔЭ, МВт*ч	22,1884	21,1544	21,2757
Лукъявинская ГТЭС	ΔЭ, МВт*ч	15,8475	13,989	15,162
Мурьяунская ГТЭС	ΔЭ, МВт*ч	4,5376	4,504	4,3989
Вся сеть НГДУ «Нижнесортимскнефть»	ΔЭ, МВт*ч	122,6846	107,726	111,716

Показатели удовлетворенности (неудовлетворенности) режимом напряжения субъектами при разных способах регулирования напряжения.

(Пендженский район электрической сети (РЭС) с центром питания (ПС Рудаки 220/110/10 кВ) и двумя малыми генераторами в составе (Таджикистан)).

Коэффициенты достижения целей субъектов и их удовлетворенности (неудовлетворенности) по напряжению

Субъекты	$K_{сд}$			
	Централизованное регулирование в ЦП с постоянными уставками в районных ПС	Централизованное регулирование в ЦП с адаптивными уставками в районных ПС	Централизованное регулирование в режиме реального времени с глобальной оптимизацией	Мульти-агентное регулирование (в интересах генерации)
Генерация	Коэффициенты достижения целей для генерации			
Айни 10 кВ	0,25	0,3	0,42	1
Джикурут 10 кВ	0,42	0,33	0,5	1
Сетевая компания	Коэффициенты достижения целей для сетевой компании			
1	0,15	0,25	1,0	0,58
Потребители	Коэффициенты неудовлетворенности потребителей по напряжению			
12	6	6	3	4

Выводы

Предложен и исследован эффективный способ децентрализованного регулирования напряжения в электрических сетях мультиагентного типа

Мультиагентное (децентрализованное) регулирование способно обеспечить компромиссное регулирование напряжения в интересах всех субъектов сети, а также создать технологическую основу локальных рынков услуг по регулированию напряжения в сети.

Предложены показатели и методика оценки качества компромиссных режимов напряжения



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

А.Г. Фишов, Р.Н. Хабибулин, Н.А. Карджаубаев

**ФГБОУ ВО Новосибирский государственный
технический университет (НГТУ),**

E-mail: fishov@ngs.ru