
Применимость исследования устойчивости мультиагентных систем к стратегическому поведению агентов в электроэнергетике

Черных В.А., МФТИ

Резюме

Проблема

Реализация мультиагентной системы может не принести ожидаемую пользу из-за некорректности работы, вызванной влиянием стратегического поведения агентов на систему

Подход к исследованию

Рассмотрен пример реальной мультиагентной системы для решения задачи парковки. Выявлено, что агенты заинтересованы отклониться от предполагаемого поведения

План исследования:

1. Анализ реализованных мультиагентных систем
2. Исследование устойчивости систем с помощью теории игр
3. Проверка выводов с помощью экспериментальных подходов теории игр

Применение к электроэнергетике

I. Применение подхода к более сложным системам MAC.

- Приоритетное направление: управление электрическими сетями (Smart Grids)
- Приоритетные системы для дальнейшей работы:
 - powertac.org
 - digsilent.de
 - powerworld.com

II. Экспериментальная проверка результатов

План

Описание подхода к исследованию

Результаты исследования и дальнейшие шаги

Анализ разработанности проблемы в электроэнергетике

Анализ электроэнергетических систем для исследования

Сравним результаты моделирования и анализ игры агентов

Цель – проверить заинтересованы ли агентам действовать так, как предполагают авторы модели



Используем МАС для моделирования процесса парковки

Рассмотрим пример мультиагентной системы для задачи “умной” парковки автомобилей

Рассмотрим взаимодействие между 4 автомобилями и 2 парковочными местами в течение 5 дней. Цель системы – заполнить все доступные парковочные места на каждом временном шаге:

Агенты автомобилей / покупатели

Агенты парковочных мест / продавцы



Алгоритм:

1. Проверим наличие хотя бы одного активного покупателя и активного продавца в рамках одного часа
2. Случайным образом выбираем покупателя и продавца
3. В случае удачной сделки убираем пару из процесса, иначе возвращаемся к 1 шагу
4. После каждой сделки агенты обновляют свои стратегии с помощью RL алгоритма Roth-Erev¹

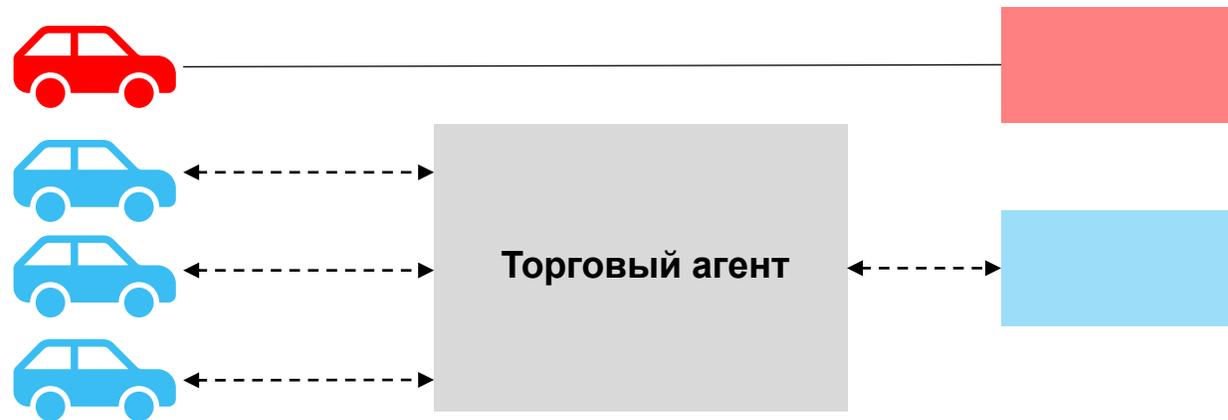
Используем МАС для моделирования процесса парковки

Рассмотрим пример мультиагентной системы для задачи “умной” парковки автомобилей

Цель системы – заполнить все доступные парковочные места на каждом временном шаге:

Агенты автомобилей / покупатели

Агенты парковочных мест / продавцы



Целевые функции агентов

$$p_i^{car} \in [p_{min}, p_{max}] \cap \mathbb{Z}, \quad i \in cars$$

$$p_j^{slot} \in [p_{min}, p_{max}] \cap \mathbb{Z}, \quad j \in slots$$

$$f_i^{car}(p^{car}, p^{slot}) = \begin{cases} \max \left[\frac{outprice - p_i^{car}}{p_{max}}, 0 \right] & \text{если } p_i^{car} \geq p_j^{slot} \\ 0 & \text{если } p_i^{car} < p_j^{slot} \end{cases}$$

$$f_j^{slot}(p^{car}, p^{slot}) = \begin{cases} \frac{p_j^{slot}}{p_{max}} & \text{если } p_i^{car} \geq p_j^{slot} \\ 0 & \text{если } p_i^{car} < p_j^{slot} \end{cases}$$

План

Описание подхода к исследованию

Результаты исследования и дальнейшие шаги

Анализ разработанности проблемы в электроэнергетике

Анализ электроэнергетических систем для исследования

Проанализируем результаты модели парковки в динамике

Наблюдаем уменьшение отклоненных сделок и рост разницы между ценой авто и ценой парковки

Рассмотрим взаимодействие между 4 автомобилями и 2 парковочными местами в течение 5 дней:

- количество отклоненных сделок постепенно уменьшается
- разница между ценой покупателя и продавца при удачной сделке постепенно увеличивается

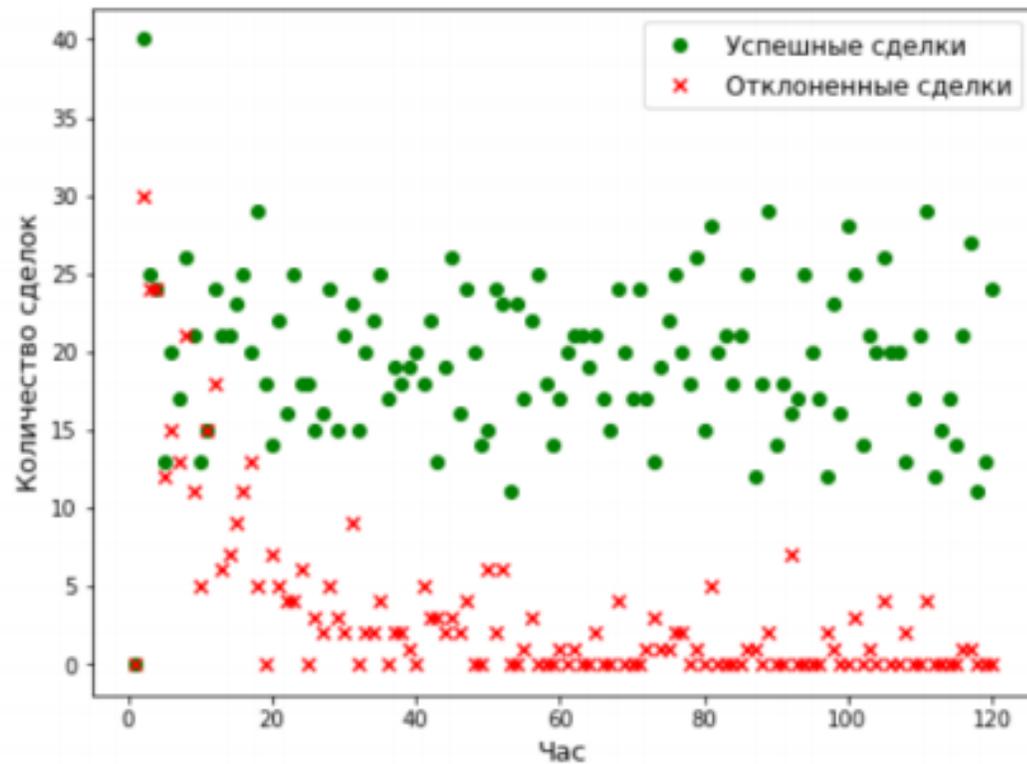


Рис. 1. Зависимость кол-ва сделок от времени

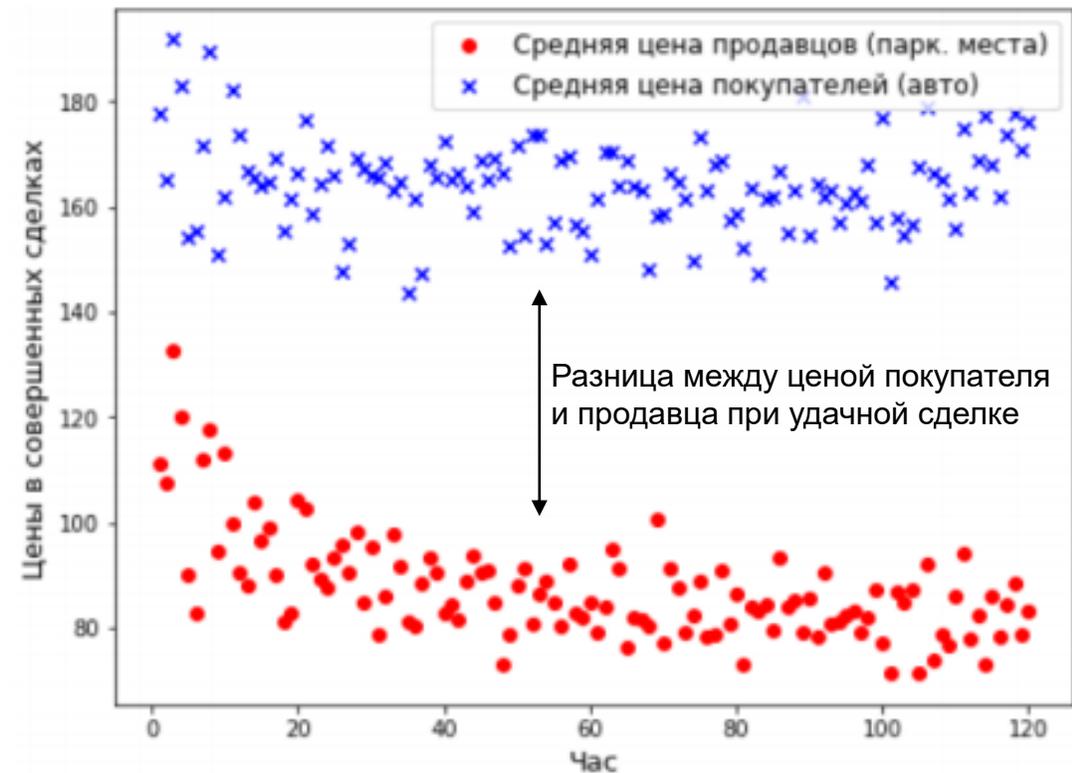


Рис. 2. Сравнение цен агентов в сделках

Рассмотрим игру для произвольной пары покупатель и продавец

Агенты заинтересованы отклониться от предполагаемого поведения системы

Постановка задачи:

Постановка игры для пары 1 покупатель – 1 продавец: $\Gamma = \left\{ \begin{array}{l} (p_i^{car}, f_i^{car}(p_i^{car}, p_j^{slot}), i \in cars) \quad \text{где } p_i^{car} \in \{p_{\min}, p_{\max}\} \\ (p_j^{slot}, f_j^{slot}(p_i^{car}, p_j^{slot}), j \in slots) \quad \text{где } p_j^{slot} \in \{p_{\min}, p_{\max}\} \end{array} \right.$

Результат:

1. Существование равновесия Нэша: равновесие достигается при: $p_i^{car} = p_j^{slot} \quad \forall i \in cars, \quad \forall j \in slots$

При $p_i^{car} < p_j^{slot}$ продавец вынужден уменьшить цену для получения положительного выигрыша

При $p_i^{car} > p_j^{slot}$ продавец заинтересован повысить цену, а покупатель стремится снизить цену:

$$f_j^{slot}(p_i^{car}, p_j^{slot}) = 0$$

$$\frac{\partial f_j^{slot}(p_i^{car}, p_j^{slot})}{\partial p_j^{slot}} > 0 \quad ; \quad \frac{\partial f_i^{car}(p_i^{car}, p_j^{slot})}{\partial p_i^{car}} < 0$$

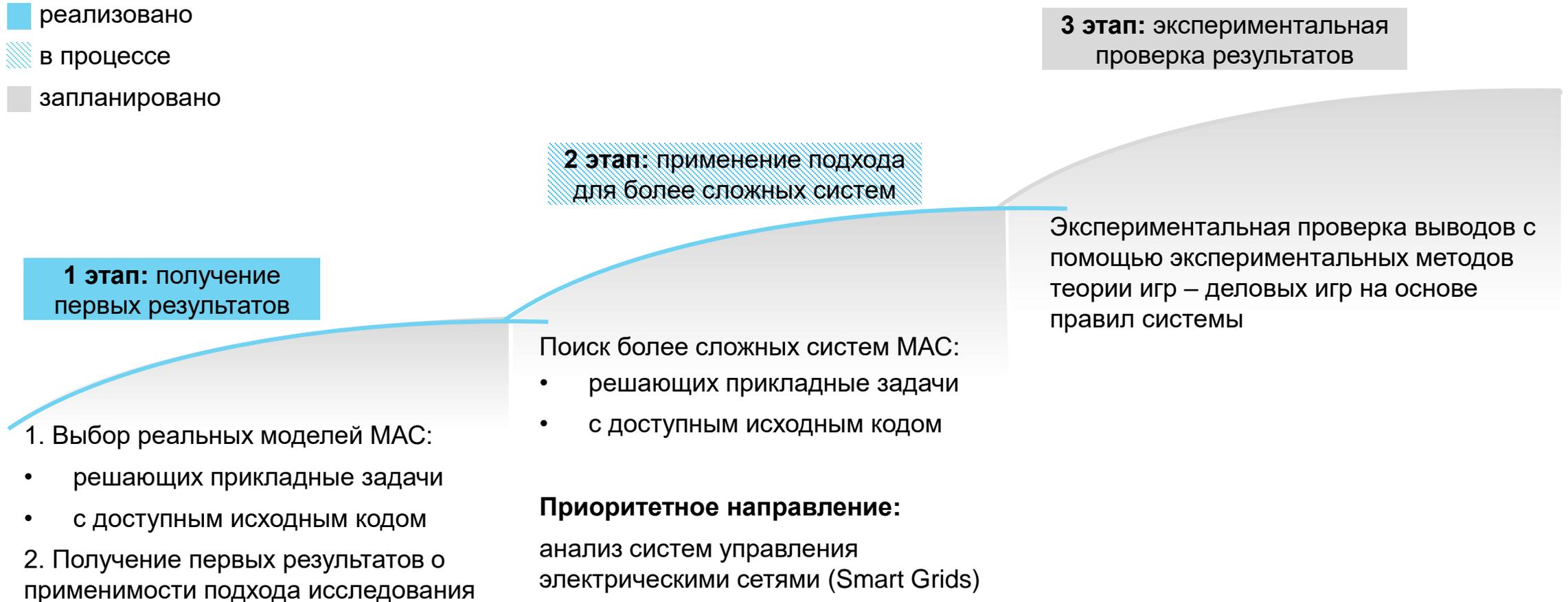
2. Единственность равновесия: конечное множество равновесий Нэша при:

$$p_i^{car} = p_j^{slot} = p \quad \forall p \in [p_{\min}, p_{\max}] \cap \mathbb{Z}, \quad \forall i \in cars, \quad \forall j \in slots$$

Далее планируется применить подход к более сложным моделям

На данном этапе получены первые результаты и сделаны выводы о применимости подхода

- реализовано
- в процессе
- запланировано



План

Описание подхода к исследованию

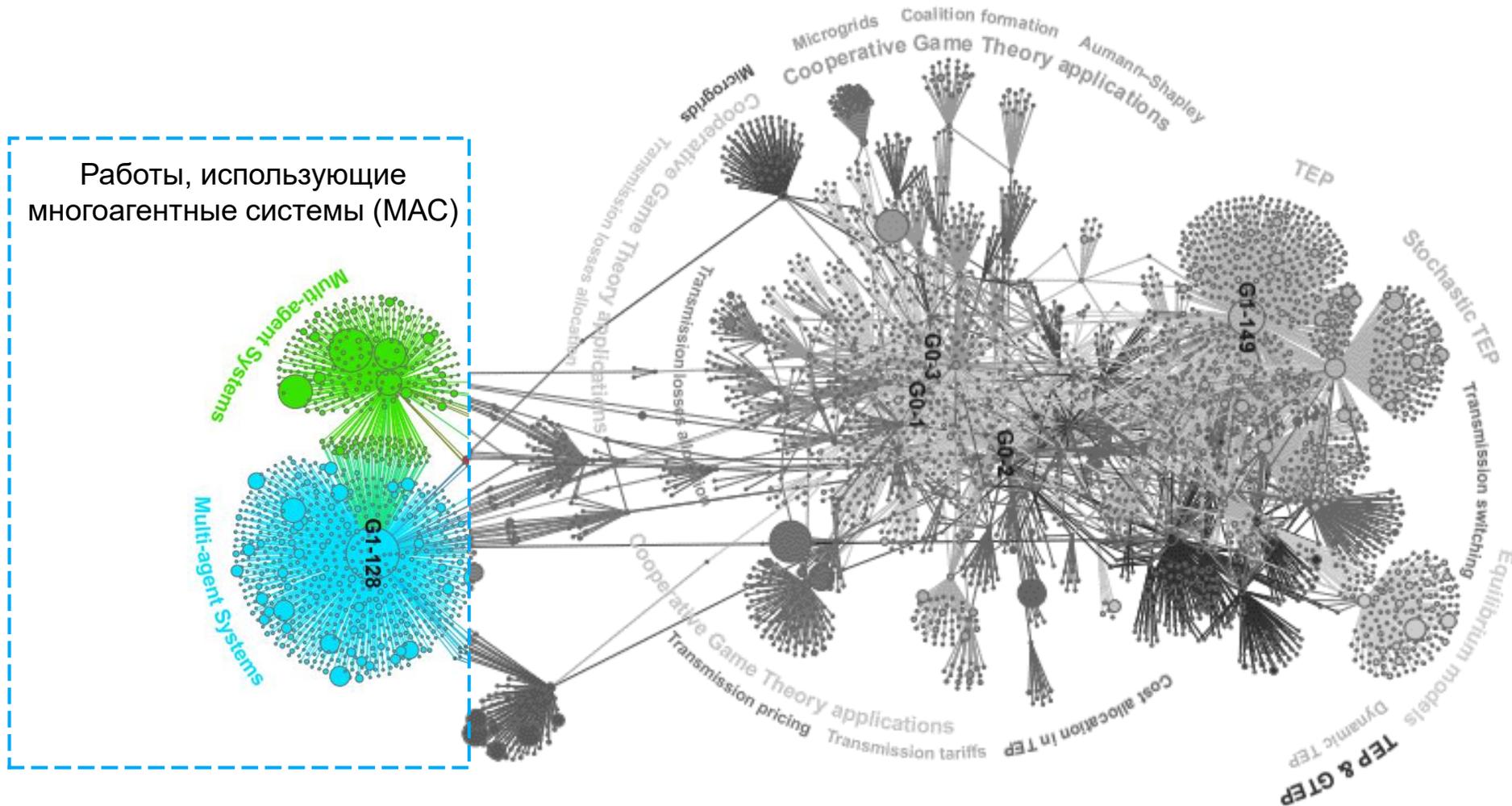
Результаты исследования и дальнейшие шаги

Анализ разработанности проблемы в электроэнергетике

Анализ электроэнергетических систем для исследования

Применим подход к исследованию энергосистем

МАС – это один из основных подходов к исследованию механизмов кооперации в энергосистемах

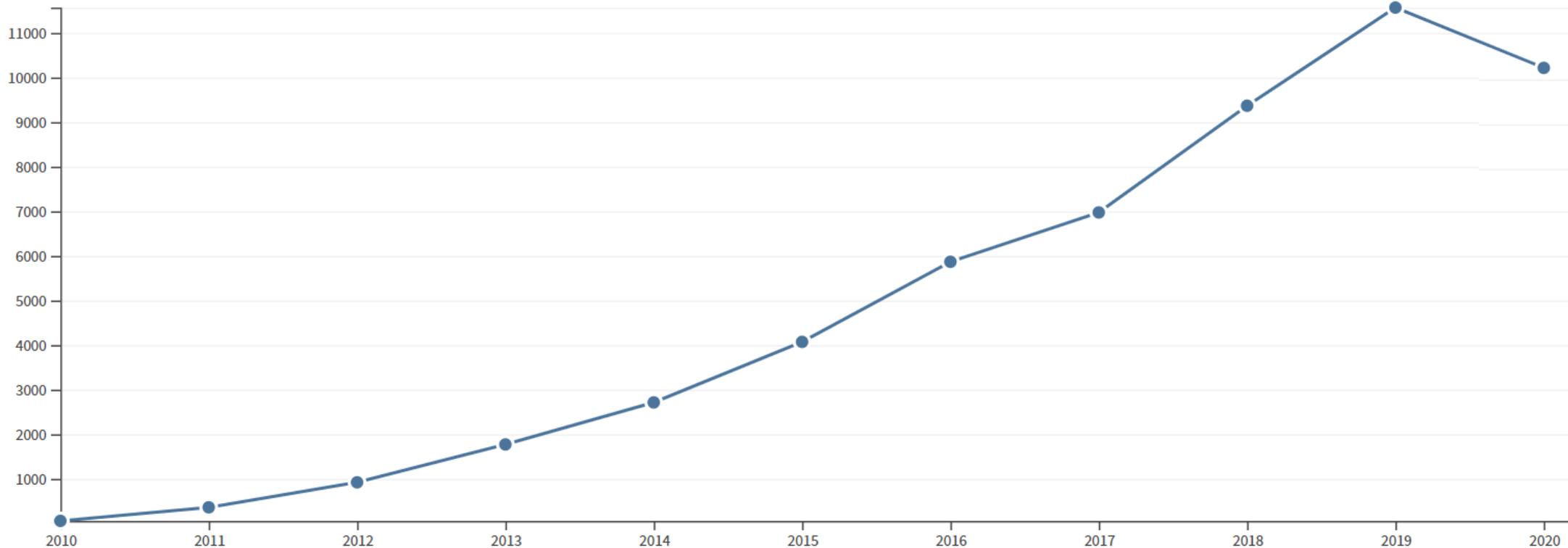


Наблюдаем рост интереса к исследованию механизмов кооперации в энергосистемах

На основе данных цитируемости работ с релевантными ключевыми словами наблюдаем интерес к теме

Положительная динамика цитируемости работ с ключевыми словами: «Cooperative Game Theory», «Multi-agent Systems» и «Power Systems»

Кол-во цитируемых работ

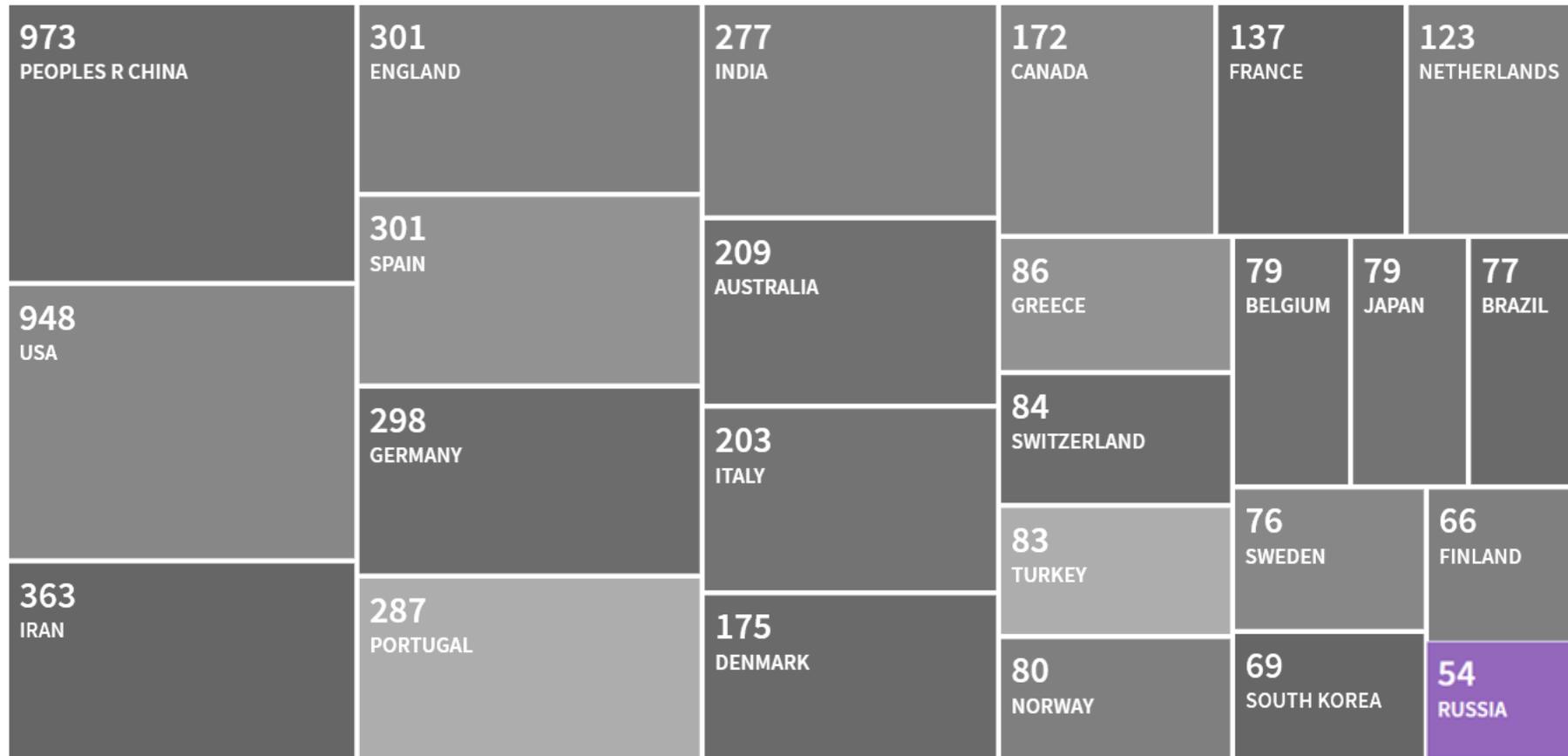


Наблюдаем относительно малую долю отечественных работ

По количеству работ по данной теме РФ входит только в топ-30

Количество работ с ключевыми словами: «Cooperative Game Theory», «Multi-agent Systems» и «Power Systems»

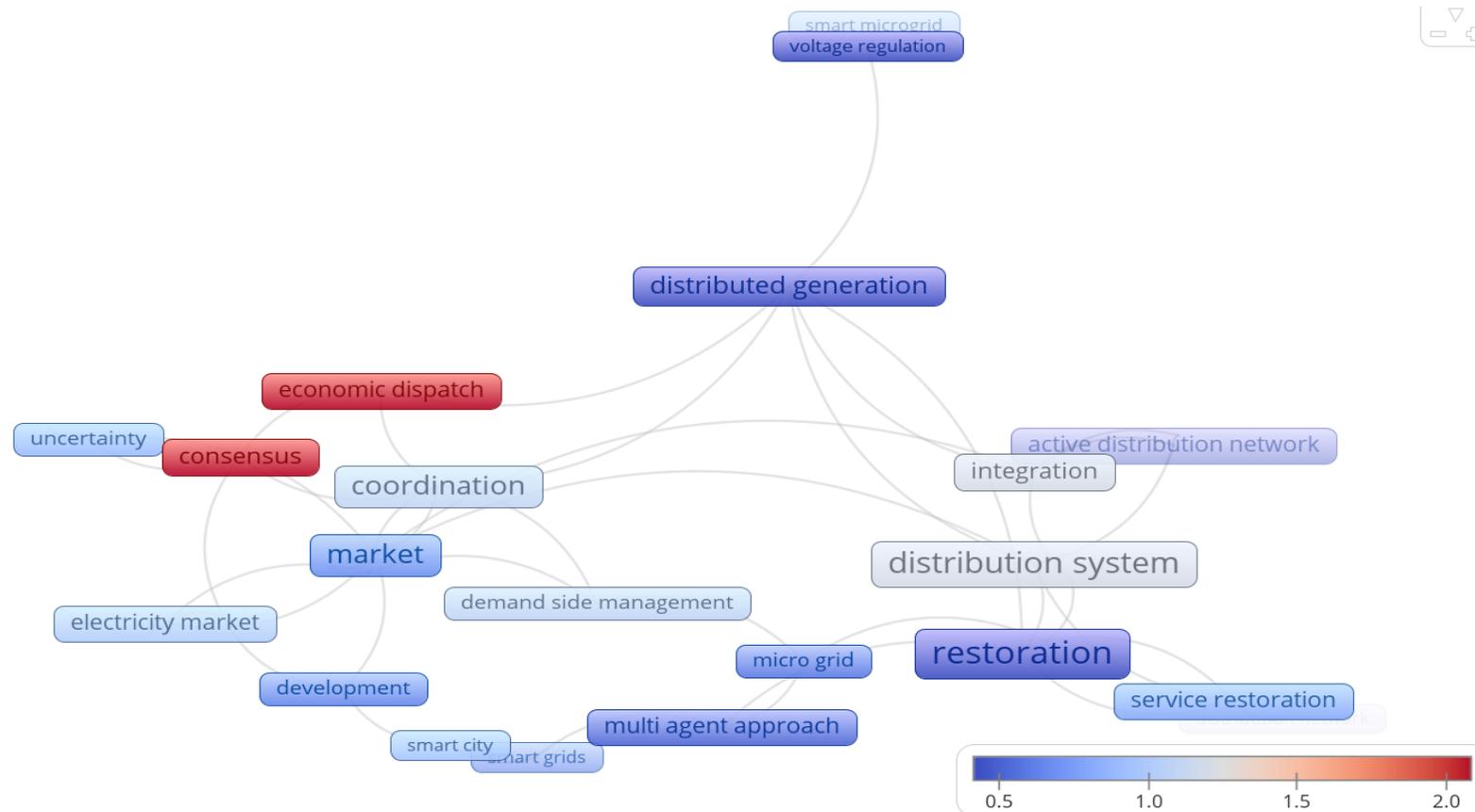
Кол-во работ за последние 10 лет



Проблема согласования действий агентов активно исследуется

Рассмотрим цитируемость направлений работ с релевантными ключевыми словами

Тема согласования действий агентов одна из наиболее обсуждаемых тем среди работ с ключевыми словами: «Cooperative Game Theory», «Multi-agent Systems» и «Power Systems»

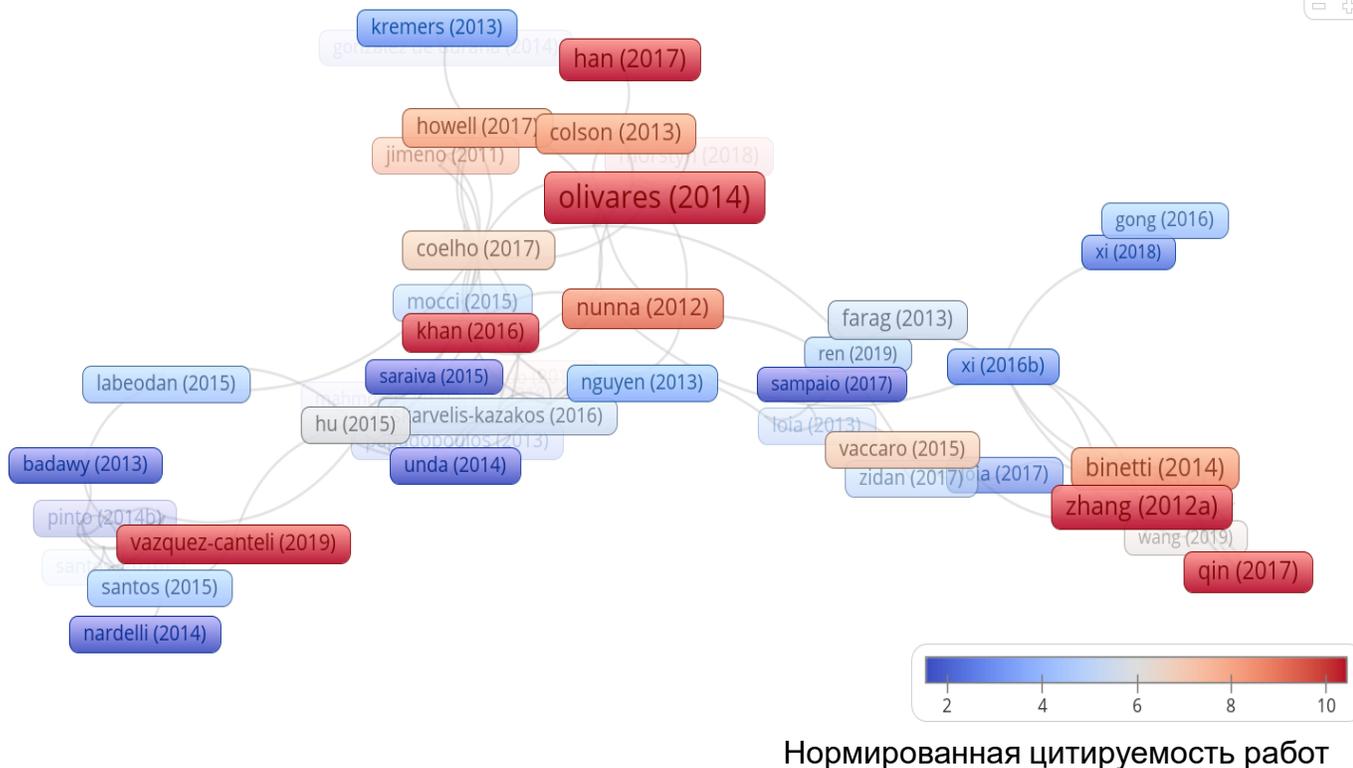


Нормированная цитируемость работ с ключевым словом

Проблема согласования действий агентов активно исследуется

Согласно сети цитируемости, активно цитируются работ: согласование действий агентов и их обучения

Тема согласования действий агентов одна из наиболее обсуждаемых тем среди работ с ключевыми словами: «Cooperative Game Theory», «Multi-agent Systems» и «Power Systems»



Примеры релевантных результатов и методов

1. Churkin, A., Pozo, D., Bialek, J., Korgin, N. and Sauma, E., 2019, June. Manipulability of Cost and Benefit Allocation in Cross-border Electrical Interconnection Projects. In 2019 IEEE Milan PowerTech

Рассмотрены вопросы стабильности трансграничных проектов электрических сетей с точки зрения стратегического поведения игроков и манипулируемости правилами распределения затрат и выгод.

2. Chirkin, V., Goldstein, M., Gorbunov, A., Goubko, M., Korepanov, V., Korgin, N., Sayfutdinov, T., Sharova, A. and Vaskovskaya, T., 2016. Gaming Experiments for Analysis of Pricing Mechanisms at Electricity Markets. IFAC-PapersOnLine

Работа раскрывает проблему манипулируемости механизмами ценообразования на рынках электроэнергии. Проектирование нового механизма предполагает альтернативную политику управления.

План

Описание подхода к исследованию

Результаты исследования и дальнейшие шаги

Анализ разработанности проблемы в электроэнергетике

Анализ электроэнергетических систем для исследования

Реализованные решения - приоритетный вариант для анализа

Существует ряд проектов с открытым кодом, но большинство работ не прилагает реализацию системы

① Фреймворки для построения системы

Нет единого стандарта для создания мультиагентных систем

Основные фреймворки:

- JADE (Java)
- ZEUS (Java)
- PADE (Python)
- Mesa (Python)

② Реализации MAC в научных работах

В большинстве работ код не прилагается. Исходя из 25 наиболее релевантных и цитируемых работ¹:

- **0%** имеют открытый код
- около **30%** имеют описания алгоритма работы системы (псевдокод)

Пример статьи с псевдокодом:
M. H. Cintuglu, H. Martin and O. A. Mohammed, "Real-Time Implementation of Multiagent-Based Game Theory Reverse Auction Model for Microgrid Market Operation," in IEEE Transactions on Smart Grid, 2015

③ Полноценные реализованные решения

Системы с открытым исходным кодом:

- powertac.org
- digsilent.de
- powerworld.com

Системы с закрытым исходным кодом :

- Smart Solutions/ «Генезис знаний»
- CYME Power Engineering Software
- e-terradistribution от General Electric

Power TAC – пример системы для исследования

Основные элементы системы – конкурирующие агенты или брокеры

Брокеры являются конкурентами, в то время как рынки, потребители, поставщики энергии и распределительные сети моделируются симуляцией.

