

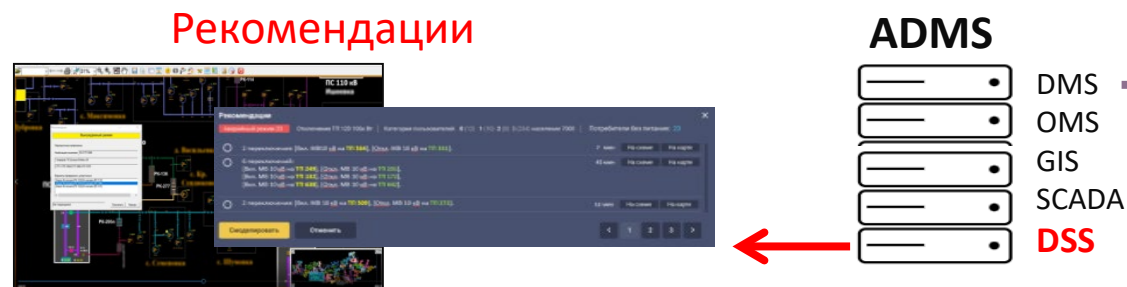
# СИМБИОЗ ИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТЬЮ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

Мероприятия по обеспечению АСТУ исходными данными (реального времени и прогнозными)

# СИМБИОЗ ИИ В АСТУ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

## ИИ1

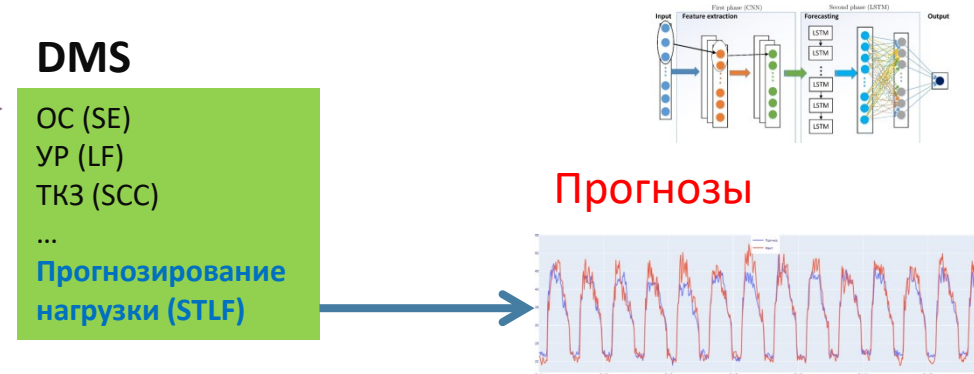
### Система поддержки принятия решения



В ответ на нарушение моделирует когнитивную работу диспетчера, выполняет «сотни тысяч» сетевых расчетов (топологий, режимов, надежности питания потребителей, чувствительности РЗ, работы автоматики, маршрутов перемещения бригад)

## ИИ2

### Система прогнозирования нагрузок



Прогнозирует активные и реактивные нагрузки трансформаторов ПС, ТП и напряжения на шинах СН ПС на 30 минут - месяц вперед с интервалом в 30 минут (**исходные данные для ADMS/EMS**).

# ИИ 1 - СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

**ПОСЛЕАВАРИЙНЫЙ РЕЖИМ:**

**Локализация поврежденного оборудования;  
Восстановление питания потребителей, схемы.**

**НОРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ:**

**Оптимизация потерь электроэнергии;  
Симметрирование нагрузки трансформаторов.**

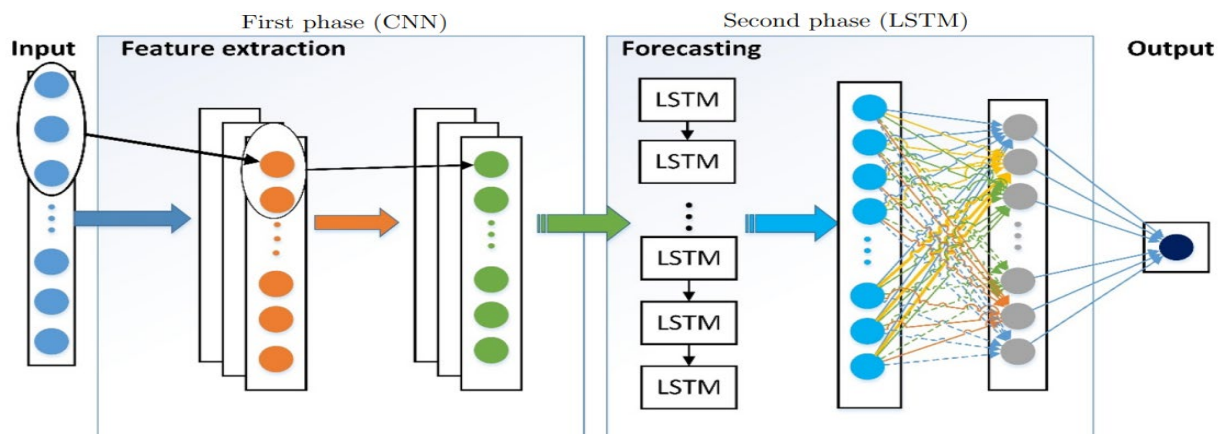
**ВЫНУЖДЕННЫЙ РЕЖИМ**

**Устранение перегрузок оборудования**

**Ввод напряжений в допустимую область**

## ИИ 2 - СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАГРУЗОК

- ✓ *Программное обеспечение* - комбинированные модели нейронных сетей, состоящие из нескольких слоев, включая CNN, LSTM/GRU.



- ✓ *Аппаратное обеспечение* – серверы с GPU.
- ✓ *Исходные данные* – годовые временные ряды полчасовых активных (и реактивных) потреблений электроэнергии.



## ПОЛОЖЕНИЕ С АСТУ СЕТИ 6-10 КВ | ЧТО ПРЕДЛАГАЕМ

### ДАННЫЕ

ТС, ТИ на ЦП, РП, ТП, Рек.: 2% от необходимых для наблюдаемости сети – **обеспечить 100%** :

- ✓ СЭЭ стоят на 30% ТП | **счетчики ставить на 25-30% ТП, 40-45% измерений рассчитывать;**
- ✓ данные в АИИС УЭ запаздывают на сутки и более – **замещать точными прогнозами.**

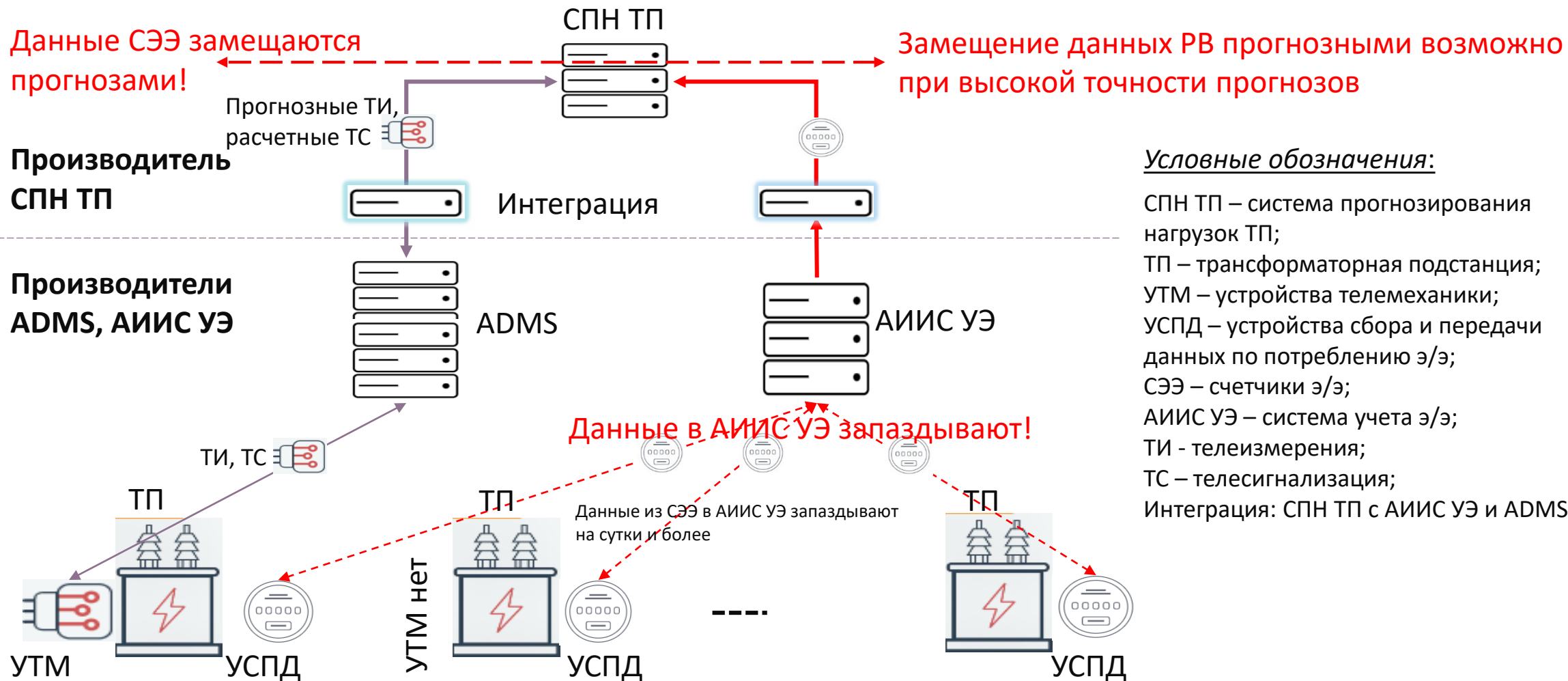
### SCADA

Топология в темпе процесса определяется, но с участием человеческого фактора (ТС вводятся вручную) | **определять ТС нагружаемой части сети автоматически в темпе процесса по ТИ и псевдо ТИ.**

### DMS/OMS

- ❑ Оценивание состояния, оптимизация, ввод режима в допустимую область, восстановление сети, питания не выполняются | **выполнять.**
- ❑ Прогнозирование установившегося режима сети на сутки-месяц вперед отсутствует | **делать.**
- ❑ Режимная надежность не определяется | **определять.**

# КАК ОБЕСПЕЧИТЬ ПОСТУПЛЕНИЕ ДАННЫХ В ADMS?



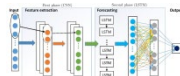
Условные обозначения:

- СПН ТП – система прогнозирования нагрузок ТП;
- ТП – трансформаторная подстанция;
- УТМ – устройства телемеханики;
- УСПД – устройства сбора и передачи данных по потреблению э/э;
- СЭЭ – счетчики э/э;
- АИИС УЭ – система учета э/э;
- ТИ - телеизмерения;
- ТС – телесигнализация;
- Интеграция: СПН ТП с АИИС УЭ и ADMS

# ПРОИЗВОДСТВО НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

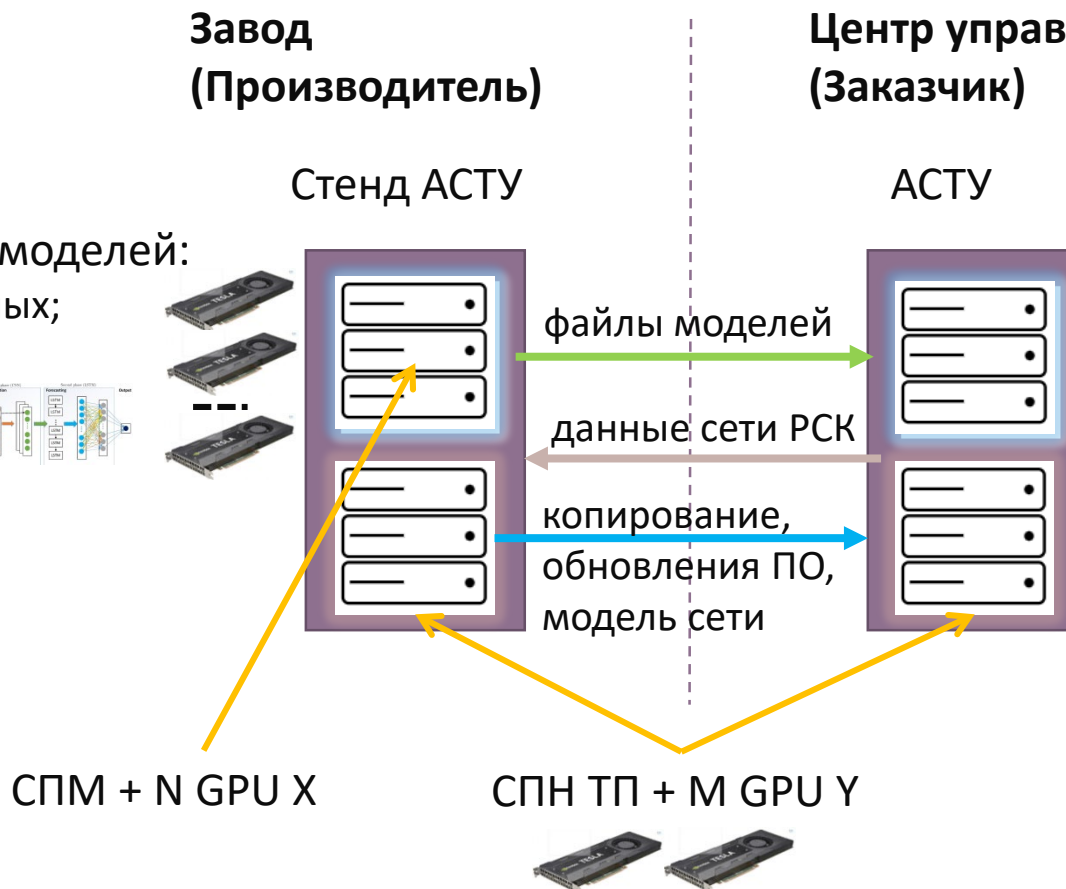
Система производства моделей:

- ✓ очистка больших данных;
- ✓ обучение моделей.



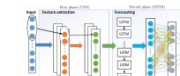
Стенд ADMS

- ✓ доработка версии;
- ✓ адаптация под проект;
- ✓ пуско-наладка.



Система прогнозирования нагрузок:

- ✓ прогнозирование;
- ✓ дополнительное обучение моделей



ADMS заказчика

*Условные обозначения:*

- ТП – трансформаторная подстанция;
- ПО – программное обеспечение;
- GPU – графические процессоры NVIDIA
- N, M – число GPU;
- X, Y – марка GPU.

## ЧТО ПРЕДЛАГАЕТСЯ УСТАНОВЛИВАТЬ В ДОПОЛНЕНИЕ К ПЛАНУ ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИИ И УЧЕТА?

Поэтапно оптимально расставить дополнительные СЭЭ на ТП, в количестве, достаточном для восстановления (расчета) отсутствующих данных, необходимых для оценивания состояния сети.

### ЧТО ДЛЯ ЭТОГО УЖЕ ГОТОВО?

- архитектуры моделей прогнозирования нагрузок и напряжений;
- программное обеспечение очистки временных рядов, обучения моделей и прогнозирования;
- методики и программное обеспечение:
  - ✓ прогнозирования режима сети;
  - ✓ расстановки дополнительных счетчиков по трансформаторам сети;
  - ✓ расчета недостающих временных рядов нагрузок трансформаторов;
  - ✓ планирования еженедельного перемещения «мобильных» счетчиков;
  - ✓ расчета положений КА сети СН по нагрузкам ТП.



## ПРИМЕРЫ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ КОНКРЕТНОГО РЭС

Возможные мероприятия, кроме телемеханизации всей сети:

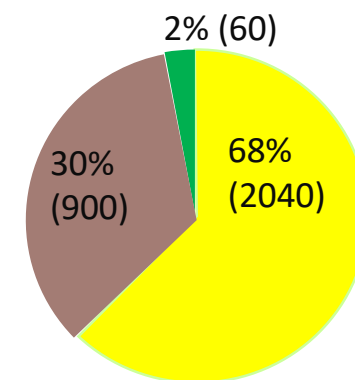
1. Установка УТМ на ТП, на которых отсутствуют и УТМ и СЭЭ;
2. Установка СЭЭ на тех ТП, на которых УТМ и СЭЭ отсутствуют;
3. Установка СЭЭ на примерно 50-60% ТП, на которых УТМ и СЭЭ отсутствуют;
4. Временная установка «мобильных» СЭЭ примерно на 10% ТП, на которых УТМ и СЭЭ отсутствуют.

Пример района электрической сети

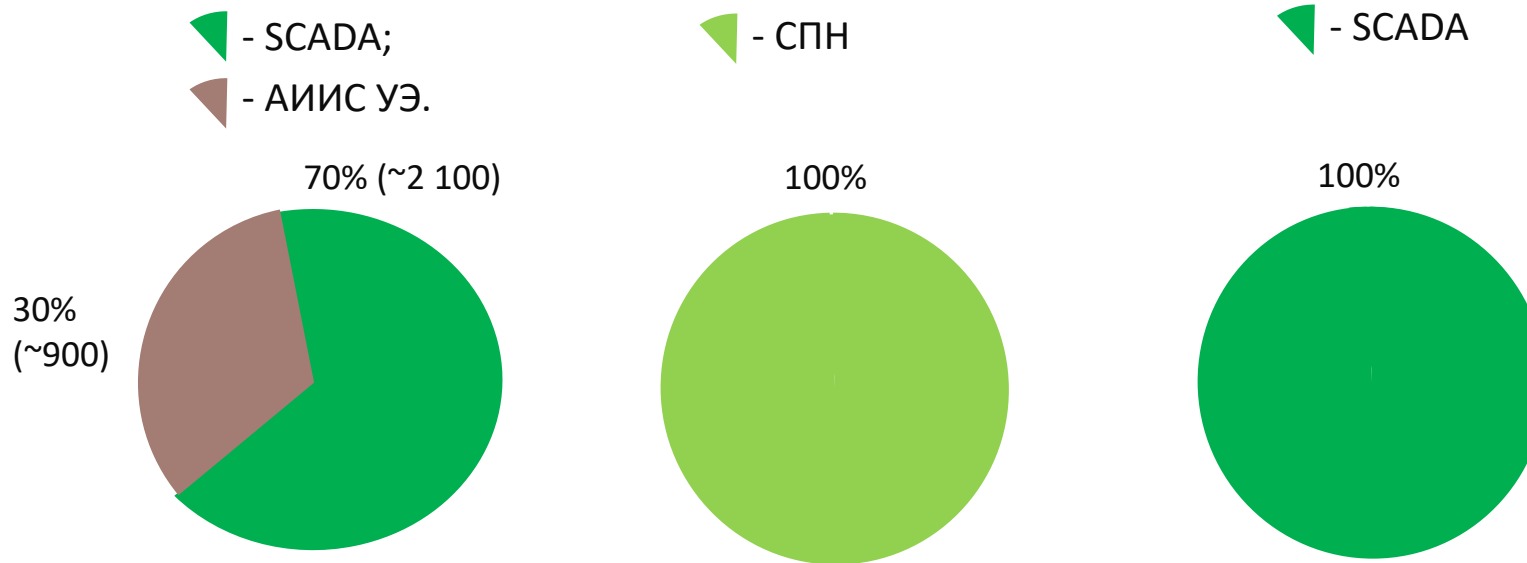
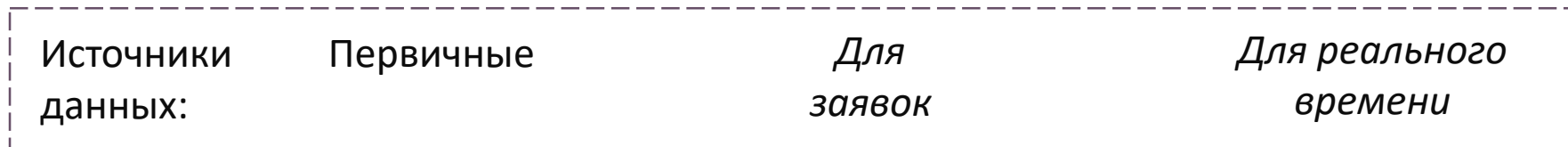
- ✓ Число ТП – 2100;
- ✓ Число трансформаторов на ТП – 3000 (100%);
- ✓ Число трансформаторов со СЭЭ, включенных в АИИС УЭ = 900 (30%);
- ✓ УТМ стоят на 2% (60) ЦП, РП, ТП;
- ✓ На 68% (2040) трансформаторов, на которых нет УТМ и СЭЭ, выполняются замеры максимума нагрузок.

Источники данных:

- ▲ - SCADA;
- ▲ - АИИС УЭ;
- ▲ - Замеры.



## Реализация решения 1



Методики: методика прогнозирование режима сети.

## ЦЕНА/КАЧЕСТВО РЕШЕНИЯ 1

№	Источники данных, %: SCADA/АИИС УЭ/СПН/Замеры	Данные - РВ, Заявки, %: SCADA/СПН/Замеры	Установка УТМ, СЭЭ	Людские ресурсы	Точность прогнозов, ОС, ур	Цена на ТП, млн, руб.	Цена на сеть, млн. руб.
1	100/ 0/ 0/ 0	100/ 0/ 0	2100 УТМ	0	Самая высокая	1,2	> 2400

### Преимущества :

- *точность ОС* самая высокая, так как непрерывно измеряются параметры сети (мощности, токи, напряжения) на всех ТП;
- *точность прогнозирования* самая высокая по тем же причинам.
- ✓ 100% исходных данных в наличие;
- ✓ анализ временных рядов нагрузок не требуются.

### Недостатки :

- ✓ самое дорогое решение, цена реализации для СРЭС ~ 2,4 млрд. руб.
- ✓ самое длительное в реализации, она может растянуться на десятилетия.

### Затраты:

- ✓ Телемеханизация всех ТП;
- ✓ Применение СПН ТП.

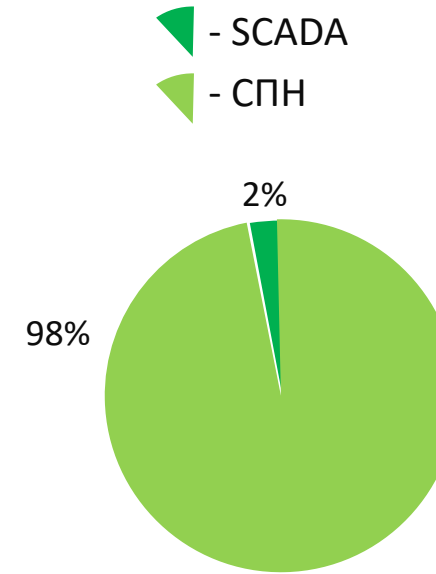
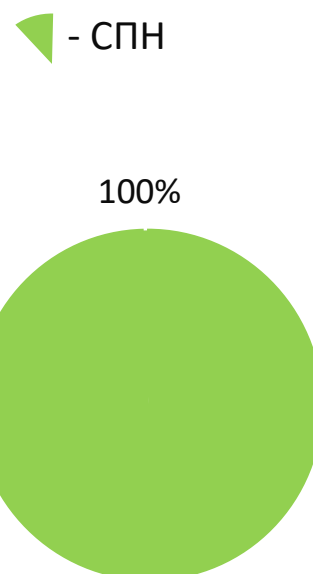
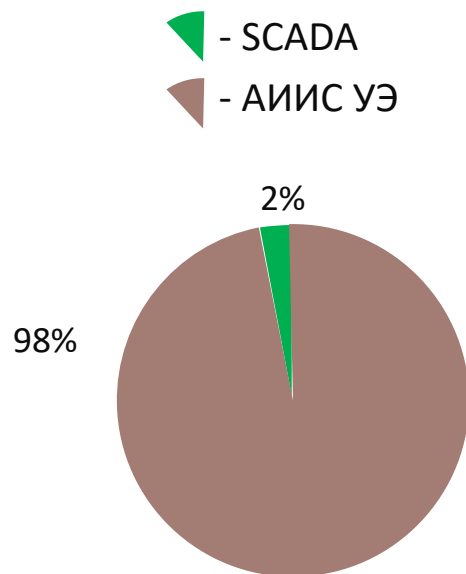
## Реализация решения 2

Источники данных:

Первичные

Для заявок

Для реального времени



Методики: методика прогнозирование режима сети

## ЦЕНА/КАЧЕСТВО РЕШЕНИЯ 2

№	Источники данных, %: SCADA/АИИС УЭ/СПН/Замеры	Данные - РВ, Заявки, %: SCADA/СПН/Замеры	Установка УТМ, СЭЭ	Людские ресурсы	Точность прогнозов, ОС, УР	Цена на ТП, млн. руб.	Цена на сеть, млн. руб.
2	2/ 98/ 0/ 0	2/ 98/ 0	~ 2040 СЭЭ	0	Высокая	0,03	60

### Преимущества :

- *точность ОС* высокая, так как выполняются точные прогнозы нагрузок на всех трансформаторах ТП;
- *точность прогнозирования* высокая, так как используются точные данные из АИИС УЭ;
- ✓ 100% исходных данных имеются в наличии;
- ✓ анализ временных рядов нагрузок не требуются.

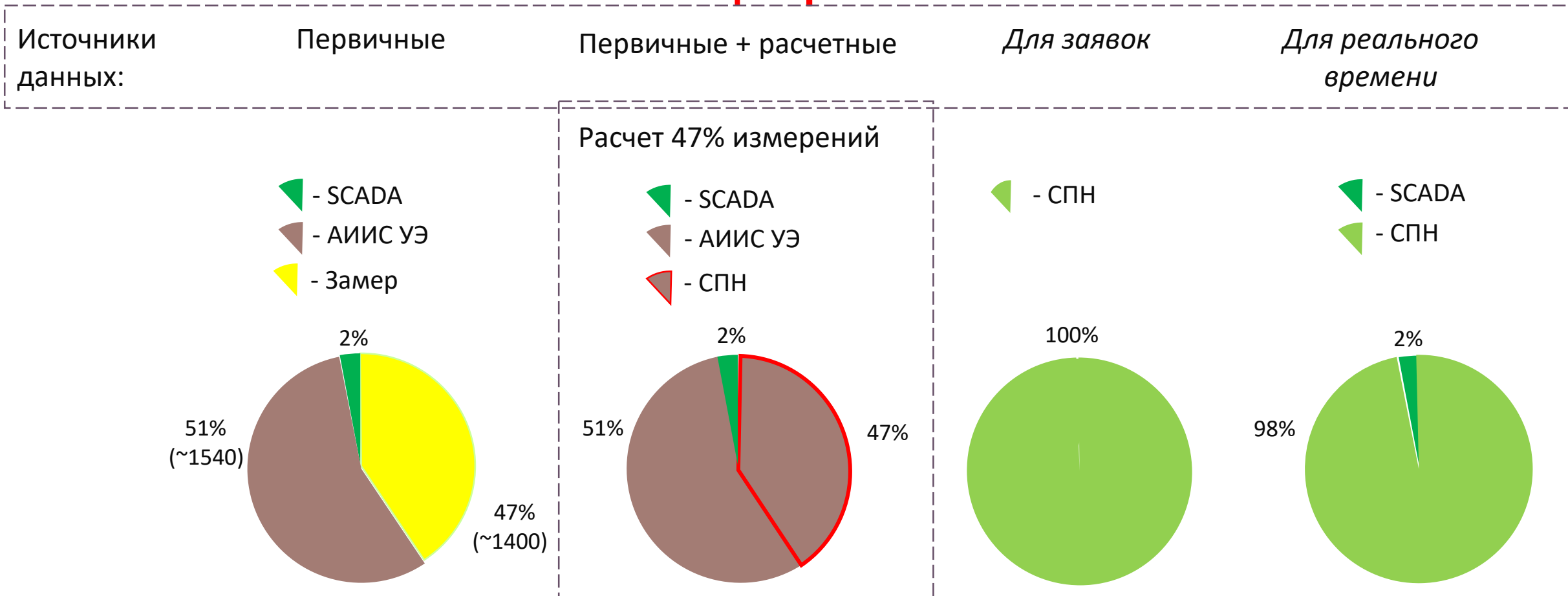
### Недостатки :

- ✓ достаточно дорогое решение, цена внедрения 2000 счетчиков составит ~ 60 млн. руб.
- ✓ включение счетчиков к АИИС УЭ может растянуться на несколько лет;
- ✓ возможно потребуются увеличить мощность серверов АИИС УЭ, модернизировать ПО;
- ✓ Для учета нагрузки внутри 30 минутного интервала (если это необходимо) для 100% нагрузок используется интерполяция.

### Затраты:

- ✓ Установка счетчиков примерно на 2 000 трансформаторов;
- ✓ Применение СПН ТП.

## Реализация решения 3



- Методики:
- ✓ методика расстановки 600 счетчиков по трансформаторам сети;
  - ✓ методика расчета 47% нагрузок;
  - ✓ методика прогнозирования режима сети.

## ЦЕНА/КАЧЕСТВО РЕШЕНИЯ 3

№	Источники данных, %: SCADA/АИИС УЭ/СПН/Замеры	Данные - РВ, Заявки, %: SCADA/СПН/Замеры	Установка УТМ, СЭЭ	Людские ресурсы	Точность прогнозов, ОС, ур	Цена на ТП, млн. руб.	Цена на сеть, млн. руб.
3	2/51/47/ 0	2/ 98/ 0	~ 600 СЭЭ	0	Высокая	0,03	18

### Преимущества :

- *точность ОС* высокая, так как используются точные прогнозы нагрузок на всех трансформаторах ТП;
- *точность прогнозов* высокая, так как используются точные данные из АИИС УЭ и на их основе проводятся прямые расчеты (по законам Ома и Кирхгофа) значений нагрузки на трансформаторах, не оснащенных счетчиками. Точность графиков «47%-х» нагрузок аналогична точности 51%-х нагрузок по данным из АИИС УЭ;
- ✓ относительно недорогое решение.

### Недостатки :

- ✓ установка и включение в АИИС УЭ 600 счетчиков возможно растянется на год;
- ✓ помимо активной и реактивной нагрузок в архивах SCADA и АИИС УЭ должны быть напряжения по трем фазам;
- ✓ возможно повысится трафик передачи данных.

### Затраты:

- ✓ Установка СЭЭ по методике примерно на 600 трансформаторов;
- ✓ Применение СПН ТП.

## Реализация решения 4

Источники Первичные данных:

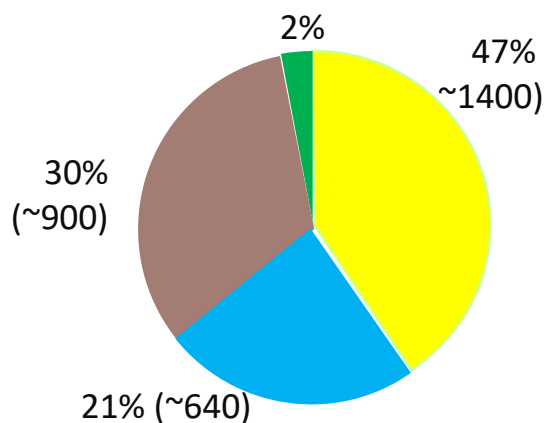
Первичные + расчетные




Для заявок

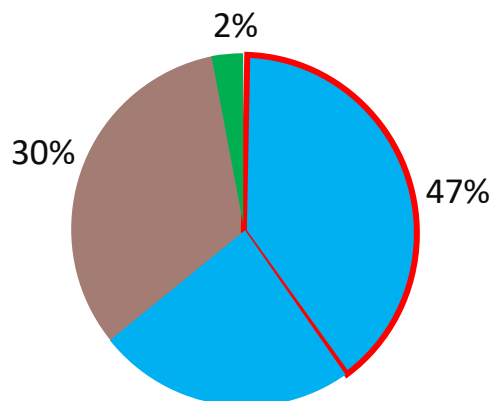
Для реального времени

**Расчеты:**  
НЕДЕЛИ на 47% трансформаторов  
рядов 68% псевдоизмерений

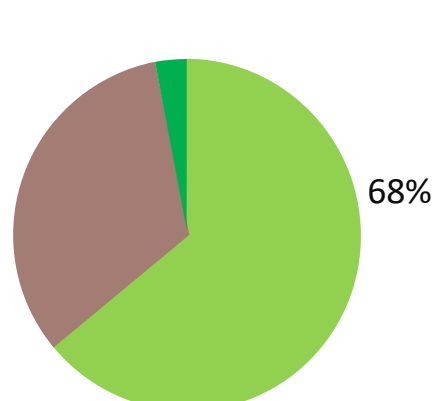
-  - SCADA
-  - АИИС УЭ
-  - Замер
-  - НЕДЕЛЯ




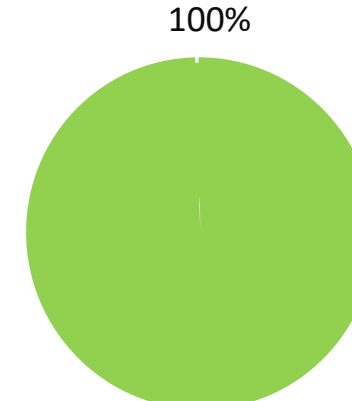
-  - SCADA
-  - АИИС УЭ
-  - НЕДЕЛЯ




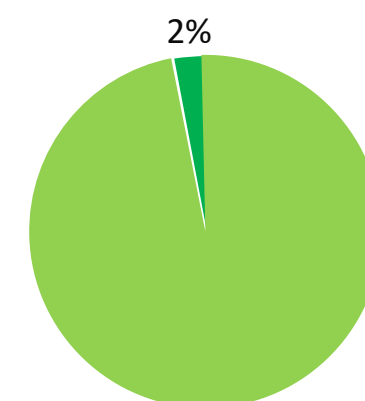
-  - SCADA
-  - АИИС УЭ
-  - СПН



-  - СПН



-  - SCADA
-  - СПН



Поставляемые методики:

- ✓ методика расстановки и еженедельного перемещения счетчиков;
- ✓ методика расчета НЕДЕЛИ нагрузок на 47% трансформаторов;
- ✓ методика расчета временных рядов нагрузок;
- ✓ методика прогнозирования режима сети.



## ЦЕНА/КАЧЕСТВО РЕШЕНИЯ 4

№	Источники данных, %: SCADA/АИИС УЭ/СПН/Замеры	Данные - РВ, Заявки, %: SCADA/СПН/Замеры	Установка УТМ, СЭЭ	Людские ресурсы	Точность прогнозов, ОС, УР	Цена на ТП, млн. руб.	Цена на сеть, млн. руб.
4	2/51/00/47	2/ 98/ 0	~ 50 мобильных СЭЭ	монтер	Средняя	0,03	1,5

### Преимущества:

✓ дешевое решение, цена «мест» и 50 счетчиков составит ~ 1,5 млн. руб.+ зарплата монтера.

### Недостатки :

- *точность ОС невысокая* из-за невысокой точности прогнозов нагрузок трансформаторов ТП, на которых нет стационарных счетчиков (временно устанавливаются мобильные счетчики);
- *точность прогнозирования невысокая* так как совместно используются: точные данные из АИИС УЭ, данные за аналогичные сутки сезона из недельных архивов мобильных счетчиков, расчетные измерения на трансформаторах без счетчиков, выполняемые на основе данных, перечисленных выше;
- ✓ псевдо нагрузки не полно отражают динамику изменения графика нагрузки по отношению к замеренному недельному графику для каждого сезона;
- ✓ помимо активной и реактивной нагрузок, в архивах SCADA и АИИС УЭ должны быть напряжения по трем фазам.
- ✓ установка «мест» для счетчиков может растянуться на год и больше.

### Затраты:

- ✓ инсталляция «мест» под СЭЭ, закупка ~50 «мобильных» СЭЭ;
- ✓ 13 циклов на СЭЭ на сезон: установка на ТП на неделю, снятия показаний, перевозка на другую ТП;
- ✓ Применение СПН ТП.

## СВОДКА МЕРОПРИЯТИЙ

№	Источники данных, %: SCADA/АИИС УЭ/СПН/Замеры	Данные - РВ, Заявки, %: SCADA/СПН/З	Установка УТМ, СЭЭ	Людские ресурсы	Точность прогнозов, ОС, УР	Цена на ТП, млн. руб.	Цена на сеть, млн. руб.
1	100/ 0/ 0/ 0	100/ 0/ 0	1300 УТМ	0	Очень высокая	1,2	> 1560
2	2/ 98/ 0/ 0	2/ 98/ 0	~ 2000 СЭЭ	0	Высокая	0,03	60
3	2/51/47/ 0	2/ 98/ 0	~ 600 СЭЭ	0	Высокая	0,03	18
4	2/51/00/47	2/ 98/ 0	~ 50 мобильных СЭЭ	монтер	Средняя	0,03	1,5

### Условные обозначения

РВ – реальное время;  
 УТМ – устройства телемеханики;  
 СЭЭ – счетчики э/э;  
 З - заявки – на сутки – неделю вперед;  
 ТП – трансформаторная подстанция;  
 ОС – оценивание состояния сети;  
 УР – установившийся режим, оптимизация.

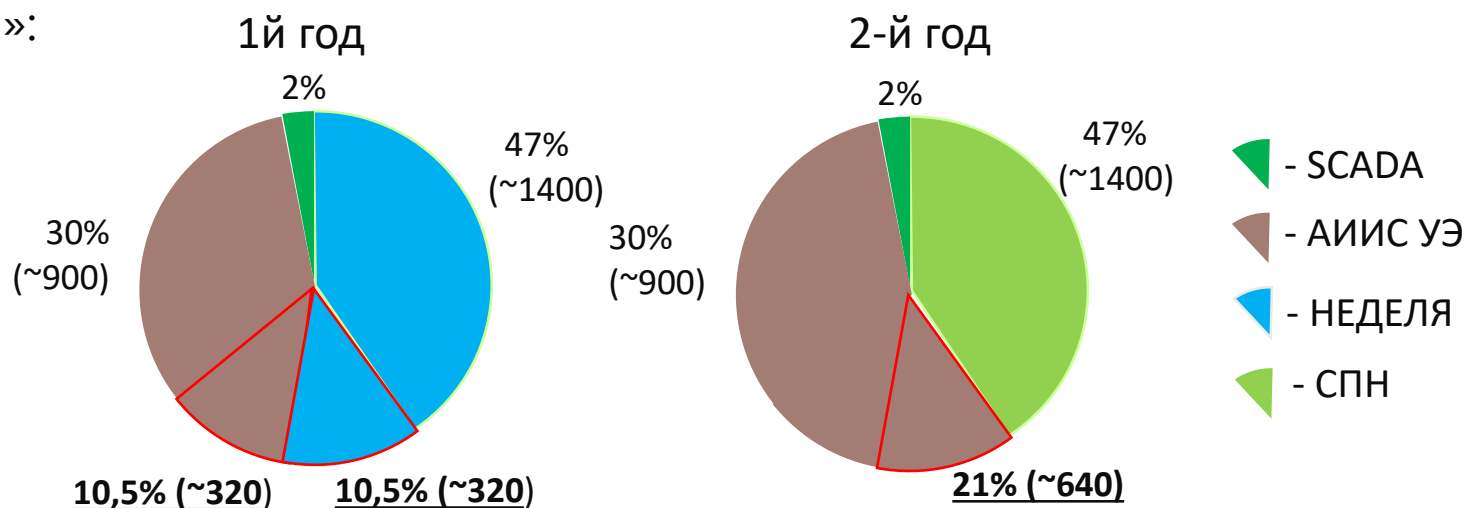
### Характеристики сети

Число ТП – 2 100;  
 Число трансформаторов на ТП – 3 000;  
 Число трансформаторов со счетчиками, включенными в АИИС УЭ – 1 000;  
 УТМ стоят на 2-х% имеющихся ЦП, РП, ТП.

## РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

- ✓ в качестве *основного решения* - установить СЭЭ примерно на 55% ТП, на которых нет УТМ и СЭЭ, на 45% ТП СЭЭ устанавливать не требуется.
- ✓ в качестве *временного решения* можно устанавливать «мобильные» СЭЭ на примерно 10% ТП, на которых нет УТМ и СЭЭ.

Например, в течение года возможно совместить установку 320 СЭЭ на наиболее важных ТП/фидерах (9 млн. руб.) и 25 «мобильных» СЭЭ (0,75 млн. руб.), перемещаемых по 320 трансформаторам, а в течение 2-го года докупить 275 СЭЭ (8,25 млн. руб.) и смонтировать их на уже готовые «места»:



Предложенные мероприятия при использовании технологии высокоточного прогнозирования нагрузок (ИИ 1) обеспечивают исходными данными SCADA/DMS/OMS, систему поддержки принятия решений по управлению сетью (ИИ 2), максимально повышая надежность распределительной сети.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**