



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

# Определение объема снижения потребления электроэнергии. Рекомендации по выбору потребителей

*Использованная на семинаре презентация содержала в основном графическую информацию, которой может быть недостаточно для понимания основных идей доклада. За дополнительными комментариями обращайтесь по адресу [rychkov-si@so-eps.ru](mailto:rychkov-si@so-eps.ru)*

**Сергей Рычков**

**для семинара-совещания в АО «СО ЕЭС» 4 декабря 2019 г.**



## Определение объема снижения потребления

Объем снижения потребления может быть определен несколькими способами. Основной подход – сравнение фактической нагрузки энергопринимающего устройства с нагрузкой, которая теоретически имела бы место в отсутствие события управления спросом. Методы, реализующие такой подход:

- график базовой нагрузки
- заявленный график
- максимальная базовая нагрузка (с оговорками)



## Почему (обычно) не используются сложные математические модели

С учетом целевой аудитории (потребители розничного рынка) принципиально важными становятся такие качества методов как

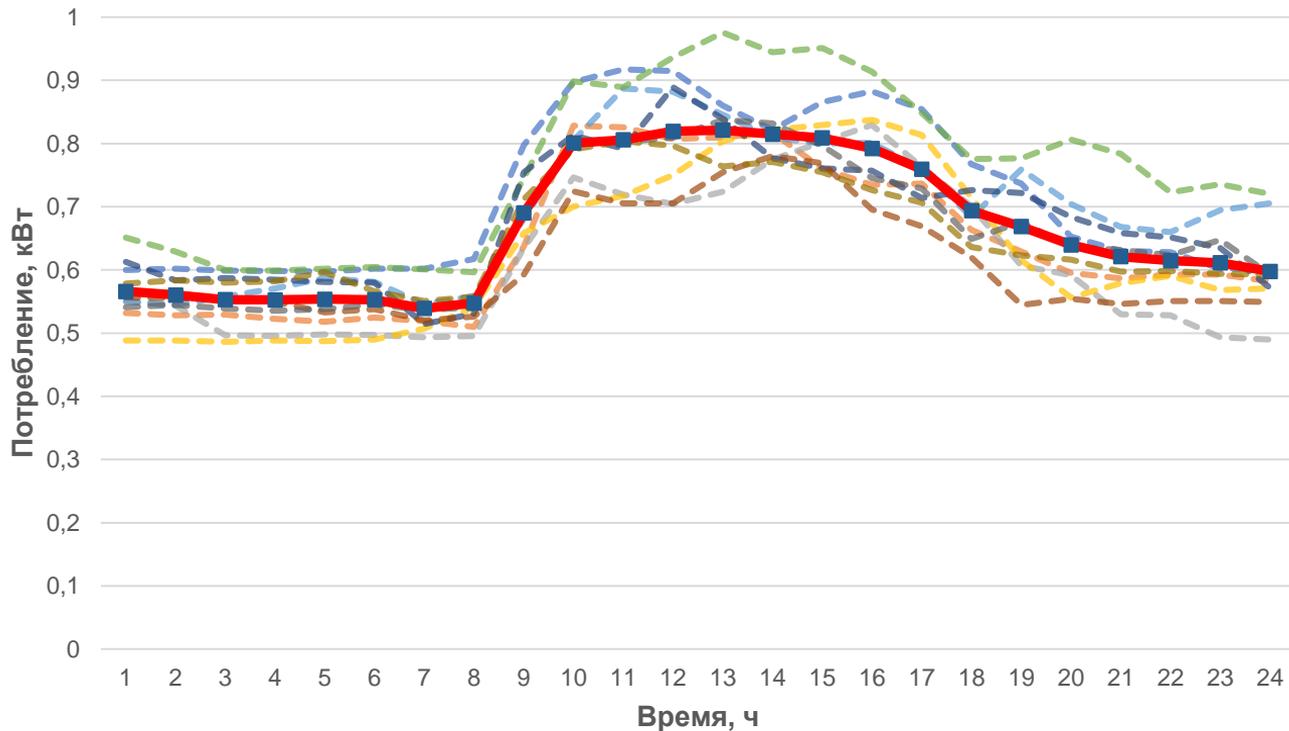
- простота,
- воспроизводимость результатов расчетов

(помимо очевидных требований к точности и защищенности от манипулирования)



# График базовой нагрузки

Потребление за 10 дней и график базовой нагрузки

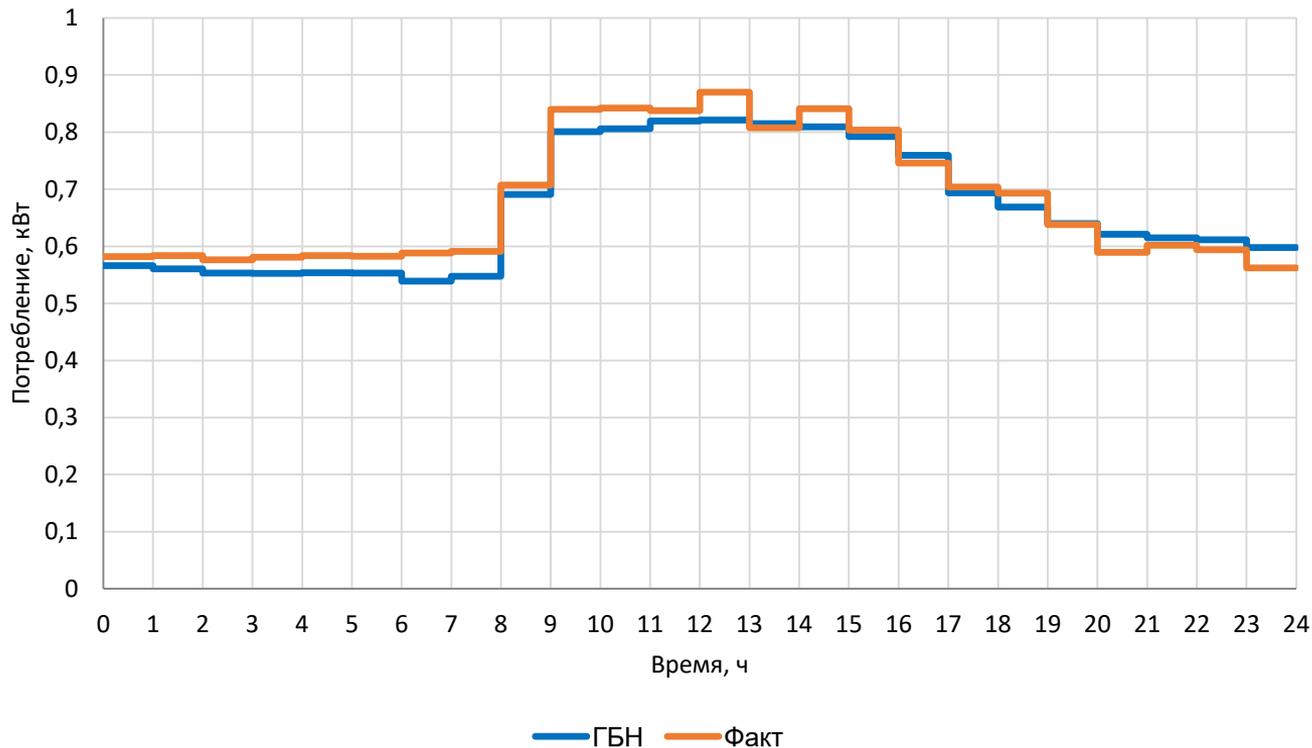


**ГБН — это прогноз потребления, основанный на информации о потреблении в предыдущий период**



# Точность графика базовой нагрузки

График базовой нагрузки и фактическое потребление

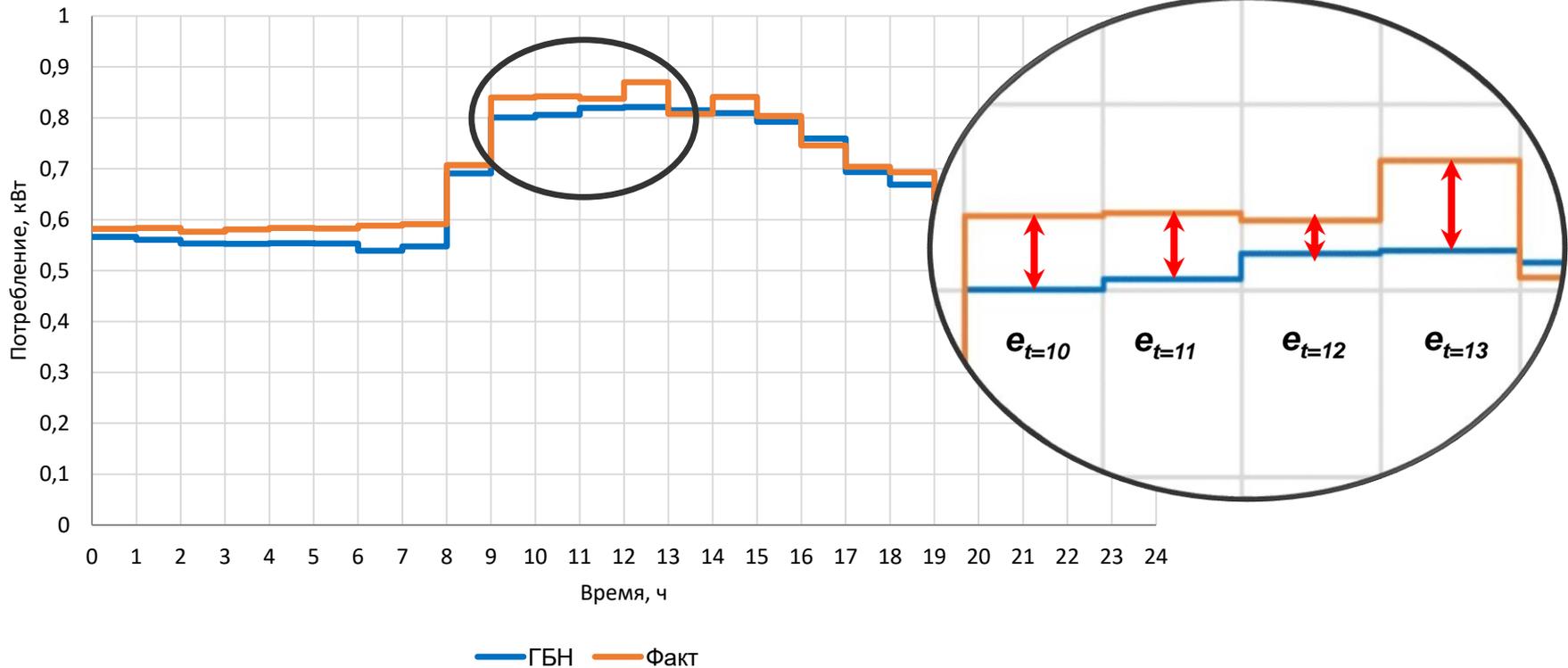


**Точность ГБН можно оценить, сравнивая ГБН с фактическим потреблением в те дни, когда события управления спросом отсутствуют**



# Характеристики точности: ошибка

График базовой нагрузки и фактическое потребление



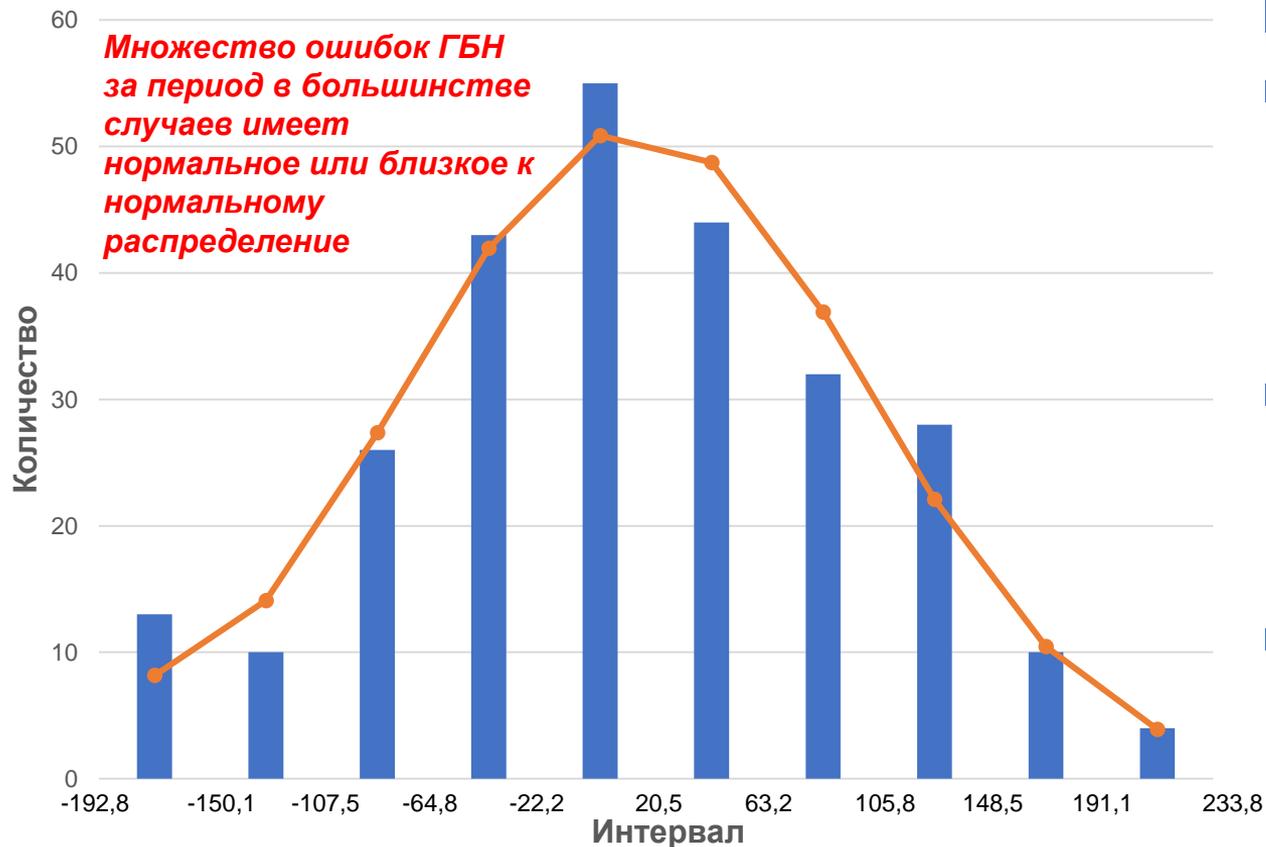


# Характеристики точности: множество ошибок за период (1)

	$e_t$													
03.10.2019	-107,9	-67,9	-24	-11	-5,8	11,6	25,2	-36,3	-65,6	-31,1	-46,5	-28	-75,4	-60,1
04.10.2019	-49,6	-36,7	-54,4	-185,6	-111,7	-24,3	72,3	11,3	-26,2	11,3	13,3	-26,4	-10,8	-13,1
07.10.2019	-74,9	-31	38,2	23,1	-27,7	-11,6	-35	-3,2	66,3	86,5	108,8	97,2	28,6	54,8
08.10.2019	67,2	138,5	91,8	86	70,8	89,6	1,3	-52,3	-61,8	-42,9	-37,6	-23,9	-37,8	1,2
09.10.2019	-18,4	57,7	37,2	16,3	-44,3	12,4	44,2	63	132,9	69,1	43,6	51,1	53,3	43,2
10.10.2019	83,3	69,1	111,5	144,3	90,8	112,3	122,3	119,4	141,6	91,9	142,8	69,1	46,8	98,8
11.10.2019	142,5	168,8	117,5	149	163,1	165,8	124,1	166,4	175,8	187,1	146,3	150	88,6	97,5
14.10.2019	15,6	-21,2	32,4	43,6	38,7	96,7	107,4	35,1	-1,2	39	14,2	13,7	17,3	33,2
15.10.2019	-1,5	-17,7	-58,4	-74	-73,3	-8,6	51,3	84,1	105,6	65,4	55	-6,8	18,9	-24,2
16.10.2019	57,5	20,5	-98,2	-63,9	-9,9	88,2	103,9	114,5	110,3	120,9	70	6,5	-19	30,8
17.10.2019	61,8	25,6	16,8	120,3	125	106,2	60,4	53,1	41,4	29,7	13,1	150,1	135,1	114,9
18.10.2019	90,9	86,4	112,3	107,4	171,4	233,8	196,8	203,3	147,5	114,2	101,7	147,7	226,4	222,7
21.10.2019	5,7	80,7	-2,8	-32,1	89,2	49,5	-10,2	-33,9	-51,7	-53,4	30,1	63,6	64,4	55,9
22.10.2019	-11,6	-116,2	-104	-130,6	-131,3	-62,9	-22,3	-33,7	-121,9	-101,1	-90,3	-138,2	-88,3	-76,9
23.10.2019	3,6	6,5	-5,2	-11,1	-6,5	27,6	24	-17,2	-73,3	-40,1	-62,9	8	-0,8	15,2
24.10.2019	12,1	26	-20,5	-12,8	-30,4	-68,1	-53,9	-67,6	-86,4	-65,4	-76,8	-55	-25,4	-29,5
25.10.2019	47,8	18,5	43,2	39,5	19,6	53,6	-8,4	35,2	12,5	-15,2	10,9	26,4	-1,8	-35,2
30.10.2019	-80,3	-32,6	-6,5	20,8	-65,9	-151,5	-171,8	-186,1	-174,8	-182,2	-152,1	-159,8	-154,2	-158,7
31.10.2019	-88,1	-98,2	-128,2	-104,3	-50,8	-51,7	-82,2	-83,6	-192,8	-160,3	-106,5	-140,7	-112,5	-169,2



# Характеристики точности: множество ошибок за период (2)

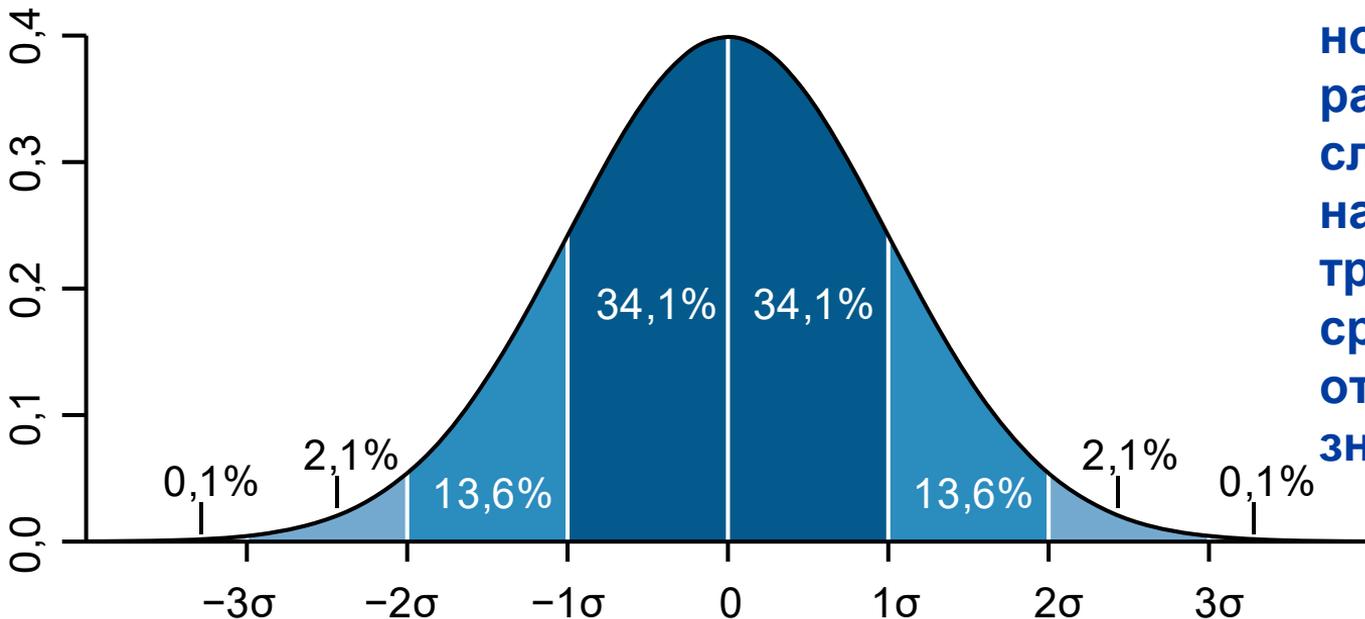


## Можно

- диапазон изменения ошибок разделить на интервалы равной величины,
- посчитать количество ошибок внутри каждого интервала,
- нанести результаты на график



# Нормальное распределение



**Правило трех сигм:**  
**99,73%** значений нормально распределенной случайной величины находятся в пределах трех среднеквадратических отклонений от среднего значения



- Совокупность ошибок можно описать различными способами. Например, посчитать среднее арифметическое
- В договоре используются две характеристики:
  - RMSE – среднеквадратическое отклонение ошибки
  - RRMSE – относительное среднеквадратическое отклонение

$$\text{RRMSE} = \text{RMSE} / C,$$

где C – среднее потребление за период

- RRMSE – безразмерная величина, ее удобно нормировать. Договором установлено требование  $\text{RRMSE} \leq 0,2$  (т.е. среднеквадратическое отклонение ошибки не должно превышать 20% от среднего потребления)



# Влияние знака ошибки на засчитанный объем разгрузки

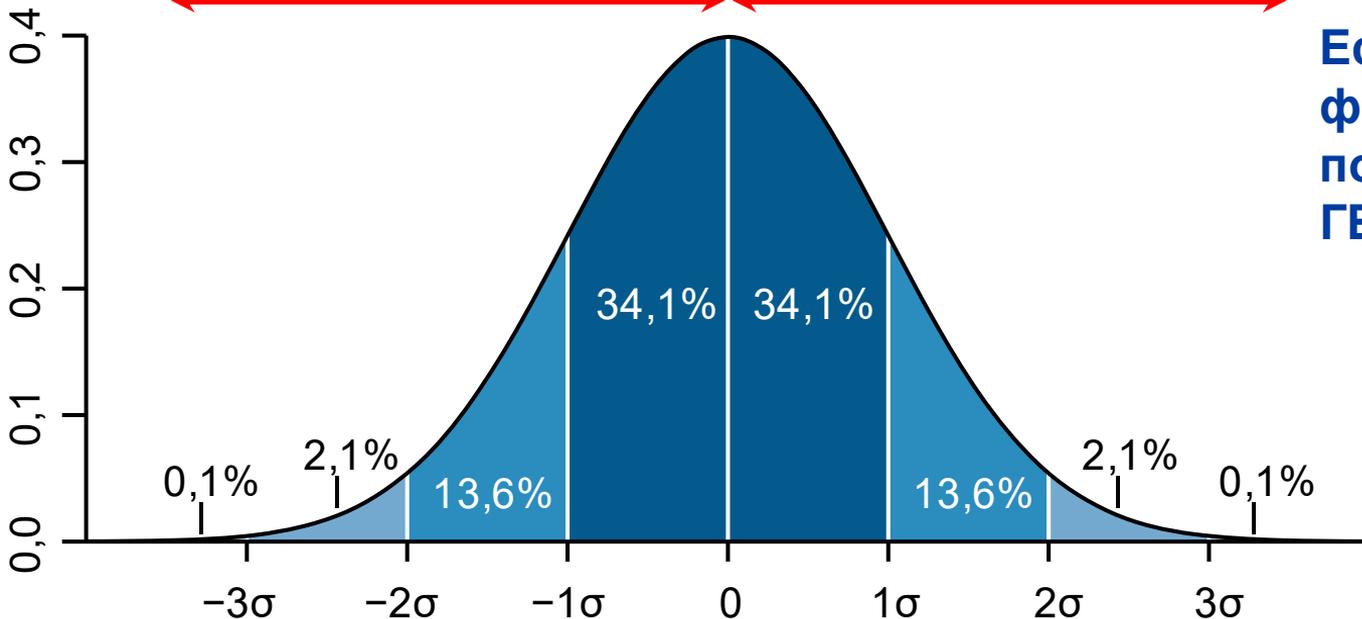
11

Часть засчитанного объема разгрузки будет обеспечена за счет ошибки

Засчитанный объем разгрузки будет снижен на величину ошибки

$$e_t = \text{факт} - \text{ГБН}$$

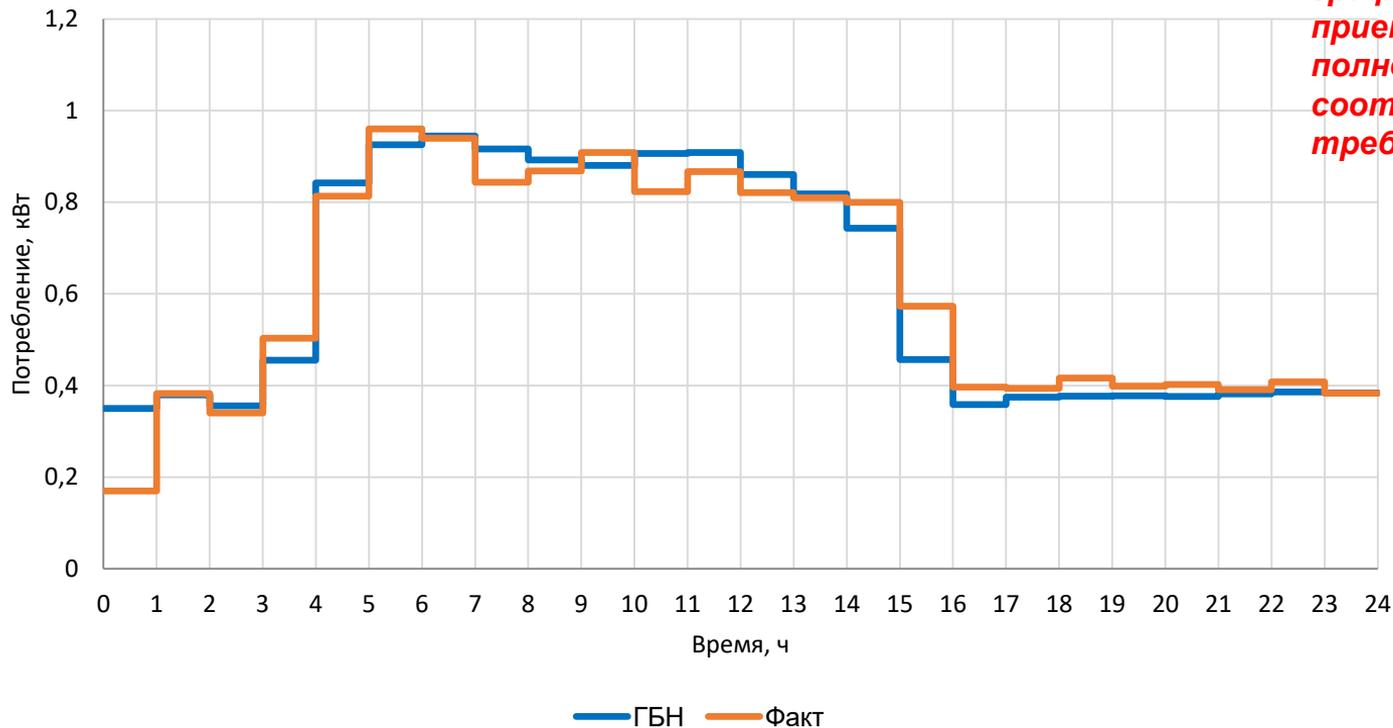
Если  $e_t < 0$ , значит фактическое потребление ниже, чем ГБН





# Пример 1: график базовой нагрузки

График базовой нагрузки и фактическое потребление



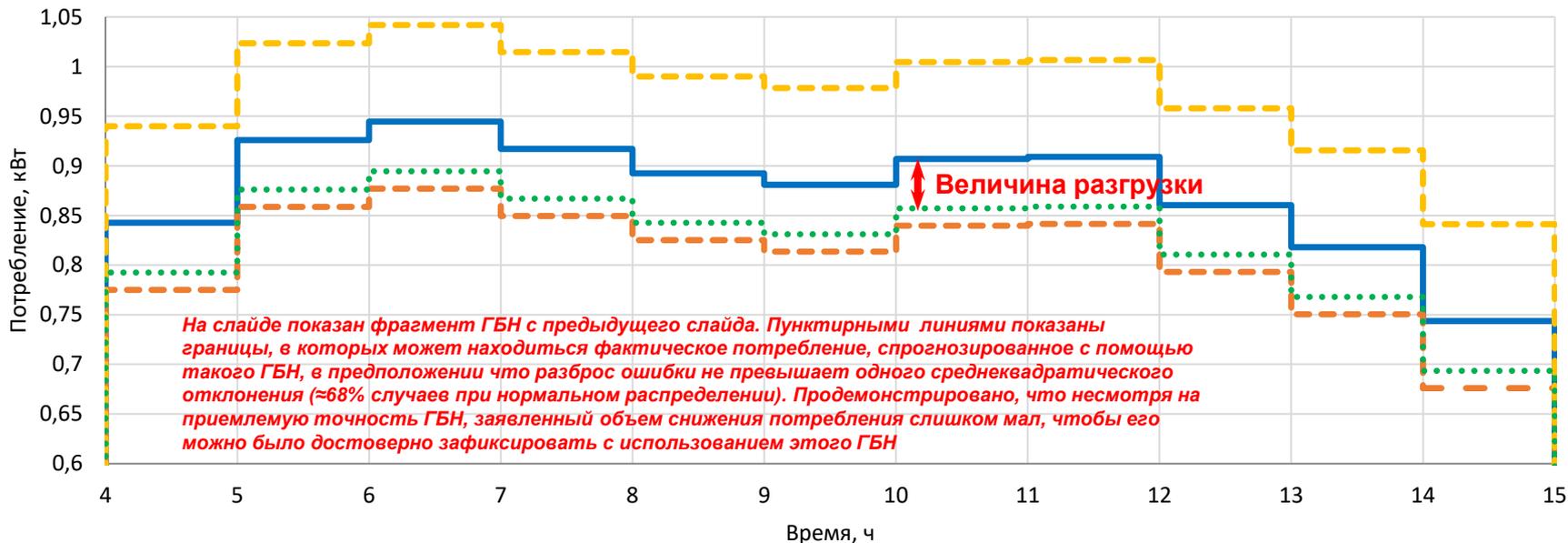
*На слайде показан пример графика базовой нагрузки приемлемой точности, полностью соответствующий требованиям договора*



# Пример 1: график базовой нагрузки (указаны ошибки в пределах одного среднеквадратического отклонения)

13

График базовой нагрузки и фактическое потребление



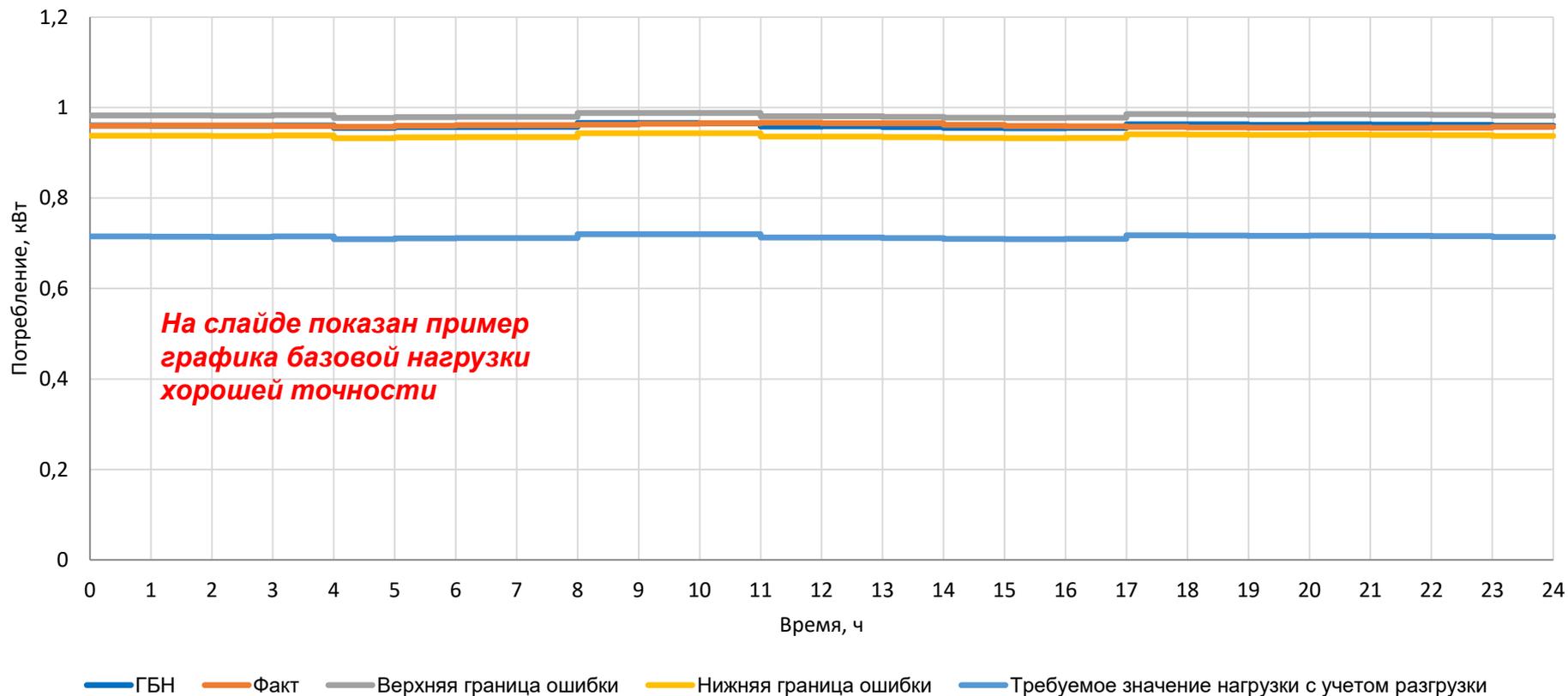
— ГБН    - - - - Нижняя граница ошибки    - - - - Верхняя граница ошибки    ..... Нагрузка с учетом требуемого снижения потребления



## Пример 2: график базовой нагрузки

14

График базовой нагрузки и фактическое потребление

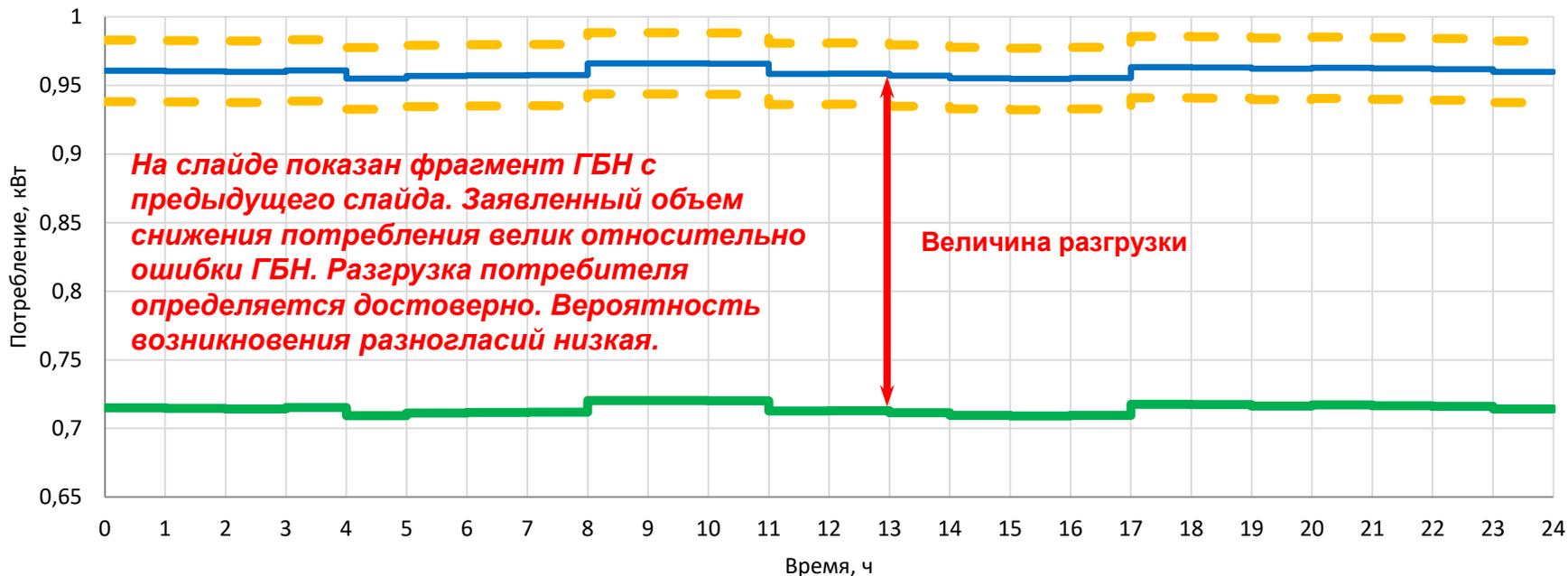




## Пример 2: график базовой нагрузки

15

График базовой нагрузки и фактическое потребление



— ГБН    — Верхняя граница ошибки    — Нижняя граница ошибки    — Требуемое значение нагрузки с учетом разгрузки



## Что (может быть) не так с этими рассуждениями

16

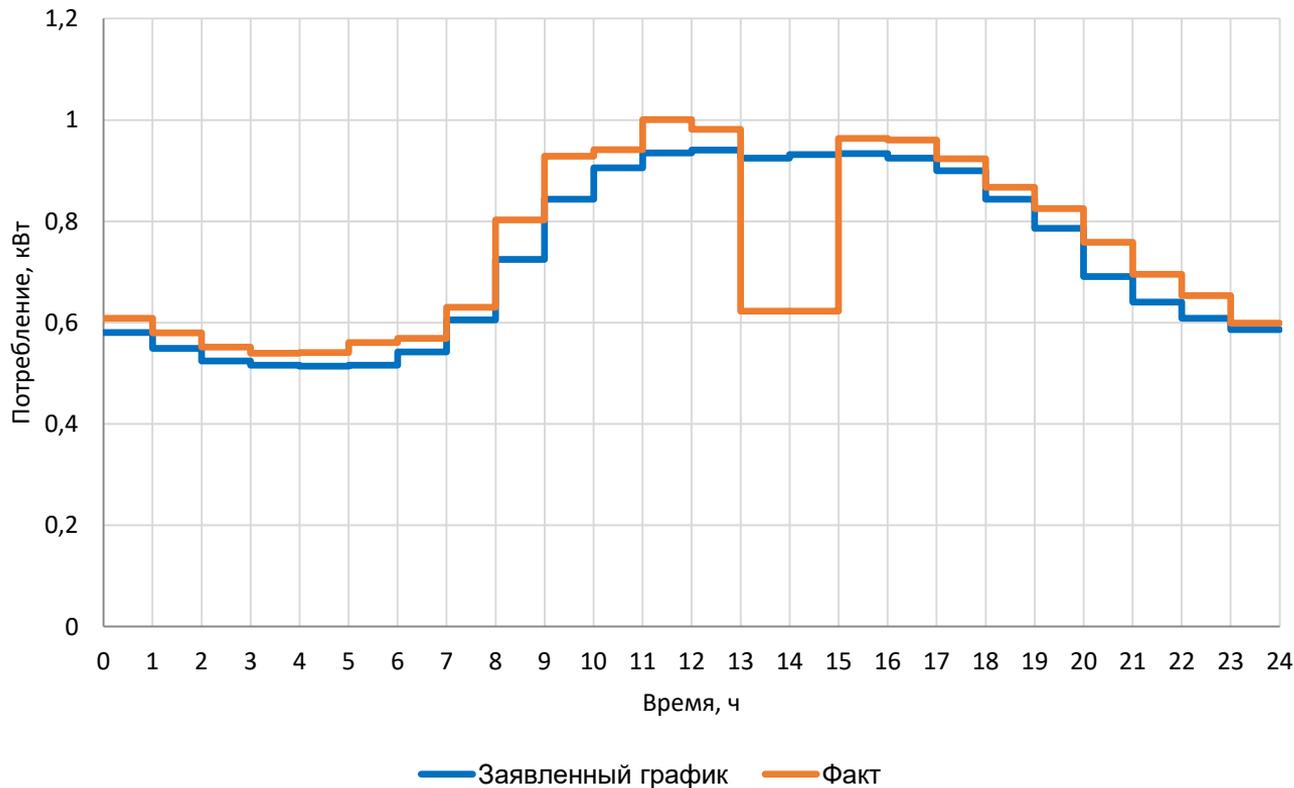
- **Распределение не всегда нормальное**
- **Среднеквадратическое отклонение чувствительно к выбросам (при этом договором предусмотрена возможность исключить из расчетов дни с аномальным потреблением)**
- **Ограниченные возможности агрегирования потребителей (в пределах одной ГТП) во многих случаях не позволяют улучшить соотношение между величиной разгрузки и ошибкой путем расчета совместного ГБН для группы энергопринимающих устройств**
- **Период, на котором осуществляется расчет RRMSE, недостаточно обоснован**



- Для ближайшего отбора появится рекомендация не вовлекать потребителей, у которых объем снижения потребления ниже RMSE (начиная со 2 квартала 2020 появится формальное ограничение)
- В процессе работы по договору агрегаторам следует оперативно проводить расчеты графиков базовой нагрузки, оценивать влияние нагрузки на RMSE, исключать из расчетов дни с большими ошибками (в обмен на готовность)
- Агрегаторам следует ежедневно осуществлять расчет ГБН на завтра и доводить потребителю информацию о рассчитанном ГБН и требуемом для успешного исполнения обязательств графике нагрузки. В случае недостаточно оперативного поступления данных коммерческого учета может осуществляться прогнозирование ГБН (например, для наихудшего сценария). Потребитель должен принимать решение об осуществлении разгрузки с учетом информации от агрегатора. **Потребитель не должен разгружаться «вслепую»!**
- Для агрегированных объектов по соглашению между агрегатором и СО могут проводиться расчеты общего ГБН для группы энергопринимающих устройств



Заявленный график и фактическое потребление

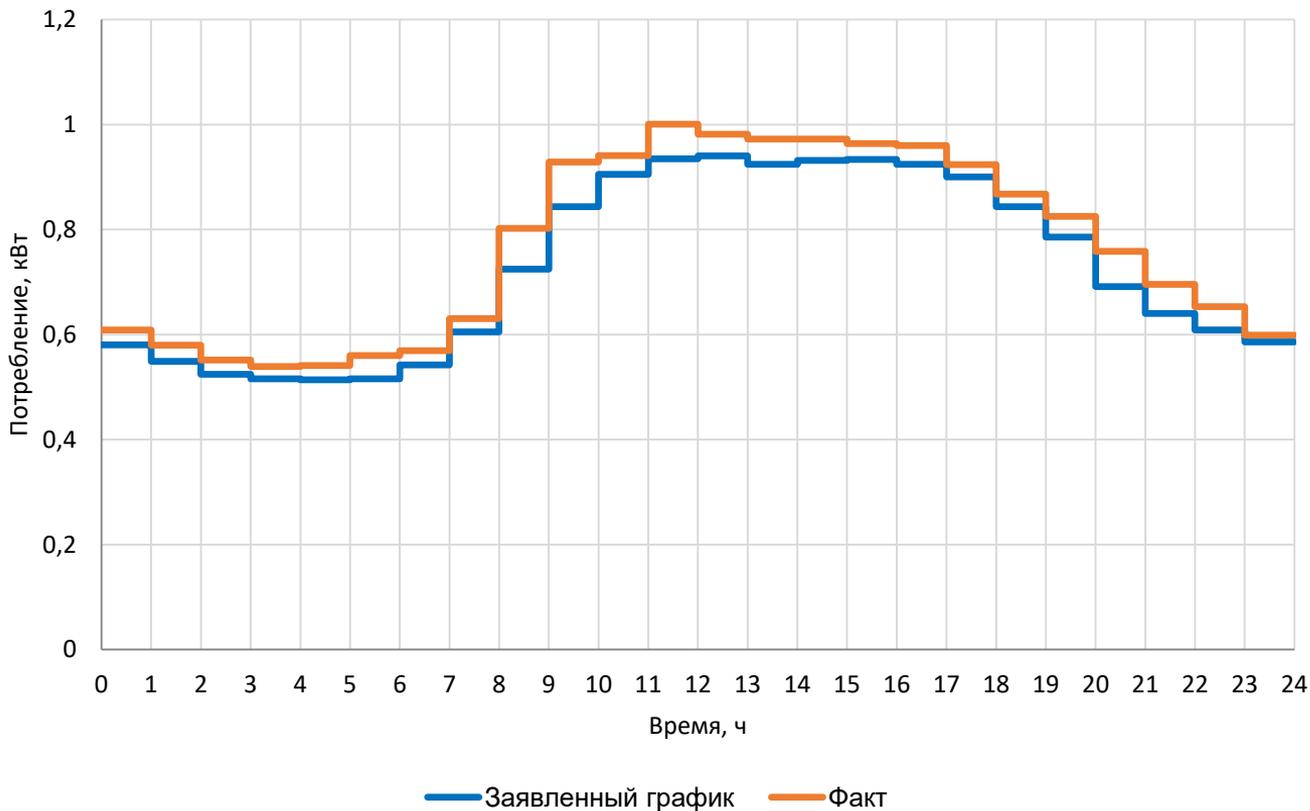


- Объем разгрузки определяется по аналогии с методом «график базовой нагрузки»
- Существуют неограниченные возможности манипулирования заявленным графиком, поэтому соблюдение заявленного графика необходимо контролировать



# Контроль соблюдения заявленного графика

Заявленный график и фактическое потребление



Возможны различные подходы к контролю соблюдения заявленного графика. Один из наиболее распространенных – установление допустимого коридора отклонений. Этот подход не используется, потому что

- выбор величины коридора требует обоснования
- коридор должен быть соотнесен с заявленной величиной разгрузки (по аналогии с ошибкой ГБН)
- усложняется администрирование метода

Предлагается заявлять график нагрузки таким образом, чтобы фактическая нагрузка всегда была  $\geq$  заявленного графика



## Максимальная базовая нагрузка

20

- для исполнения обязательств нагрузка потребителя должна быть ниже максимальной базовой нагрузки (maximum baseload)
- объем снижения потребления определяется как разница между условной максимальной нагрузкой (maximum capacity value) и максимальной базовой нагрузкой

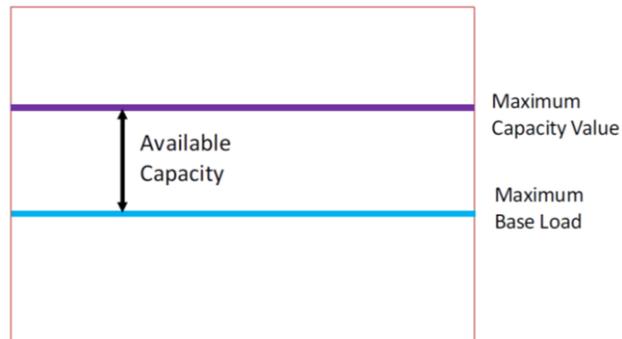


Рисунок: FERC

- величина максимальной базовой нагрузки выбирается потребителем (агрегатором)



# Максимальная базовая нагрузка (1)

Графики нагрузки 10 рабочих дней

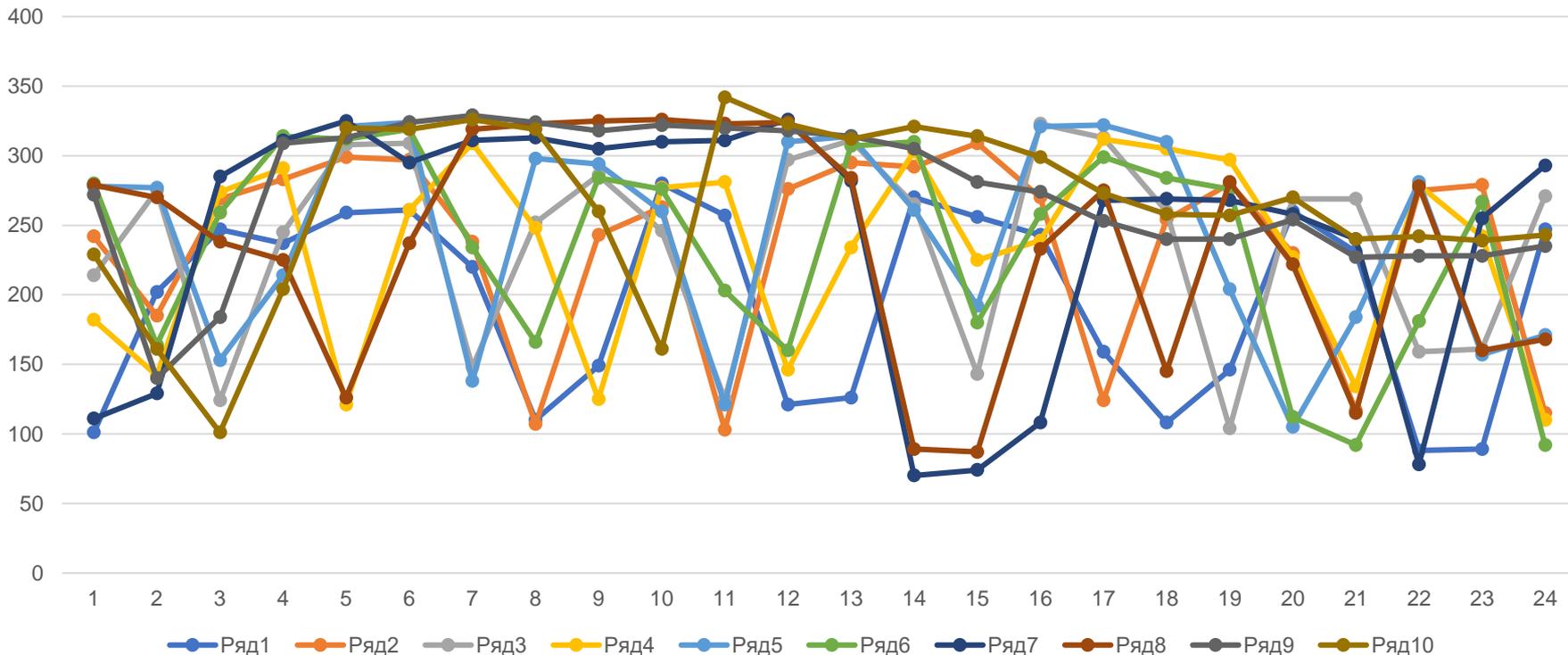




# Максимальная базовая нагрузка (2)

**Графики нагрузки того же потребителя за 10 дней**

Графики нагрузки 10 рабочих дней

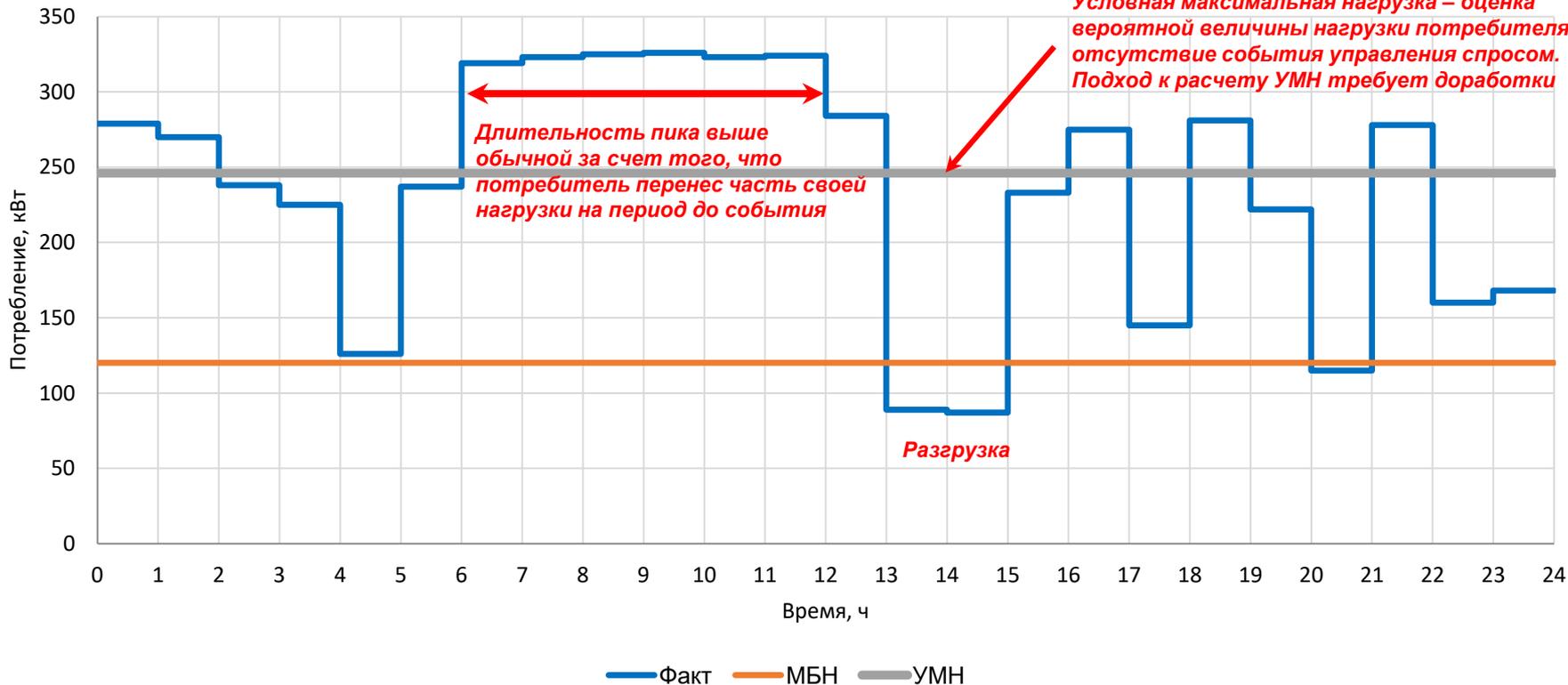




# Максимальная базовая нагрузка (3)

**Пример успешной разгрузки того же потребителя**

УМН, МБН и фактическое потребление







- Внимательно подходить к оценке возможностей потребителей, которым не подходит метод «график базовой нагрузки»: в большинстве случаев другие используемые в настоящее время методы им тоже не подойдут
- В общем случае не следует привлекать потребителей, границы которых обвязаны большим количеством приборов учета, особенно не включенных в автоматизированные системы сбора и передачи информации
- Отдавать предпочтение потребителям, объем разгрузки которых заметно (желательно – в несколько раз) превышает среднеквадратическое отклонение ошибки графика базовой нагрузки
- Тестировать альтернативные методы расчета графиков базовой нагрузки
- До участия в отборе проводить экспериментальную проверку возможности разгрузки потребителей, проверку возможности использования метода «заявленный график»
- Исследовать (совместно с СО) возможность использования общего для группы потребителей графика базовой нагрузки
- Избегать привлечения территориально-распределенных потребителей, технологический процесс которых позволяет перераспределять нагрузку между обособленными энергопринимающими устройствами



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Частота в ЕЭС, Гц

50,000

member of



[О компании](#)

[Деятельность](#)

[Филиалы и представительства](#)

[Новости](#)

[Контакты и реквизиты](#)

[ЕЭС России](#)

# www.so-ups.ru

## Оперативная информация о работе ЕЭС России



### Индикаторы ЕЭС

Частота в ЕЭС России



Температура в ЕЭС России



### Новости Системного оператора

31.07.2019 13:54

**Технический комитет по стандартизации «Электроэнергетика» подвел итоги работы в 2018 году и обсудил актуальные вопросы деятельности**

25 июля в АО «СО ЕЭС» состоялось очное заседание технического комитета по стандартизации ТК 018 «Электроэнергетика» Росстандарта и Межгосударственного технического комитета по стандартизации МТК 541 «Электроэнергетика».

30.07.2019 15:48

**Состоялось годовое общее собрание акционеров АО «Системный оператор Единой энергетической системы»**

В соответствии с законодательством Российской Федерации полномочия общего собрания акционеров АО «СО ЕЭС», 100 % голосующих акций которого находятся в собственности Российской Федерации, осуществляются Федеральным агентством по управлению государственным имуществом (Росимущество).

