Технико-экономический анализ применения существующих и перспективных технологий газоочистки на действующих ТЭС Сибирского и Дальневосточного федерального округов

30.09.2026

к.т.н., Прохоров Вадим Борисович Профессор кафедры ТЭС

Сравнение нормативных предельных концентраций загрязняющих веществ, в Российской Федерации и зарубежом

Сравнение нормативов РФ с зарубежными странами

Загрязнитель	Вид объекта	Китай	США	ЕС	РФ
Оксиды азота	Действующие ТЭС	100	135	200	500/1000
	Новые ТЭС	50	90	150	300/640
Оксиды серы	Действующие ТЭС	50/100/200	185	200	700/3000
	Новые ТЭС	35	136	150	700/1400
Зола	Действующие ТЭС	20/30	19	20	150/900
	Новые ТЭС	10	12	10	50/250

Основные положения

Нормативы по выбросам в Российской Федерации для новых объектов ужесточаются, при этом требования по выбросам в Китае, США и ЕС остаются заметно жестче. Существует перспектива приведения нормативов для новых станций в Российской Федерации к значениям зарубежных стран. В связи с этим целесообразно оценить потенциал парка генерации и сформировать рекомендации по дальнейшим направлениям его развития.

Динамика роста ставок платы за выбросы в 2026–2030 гг.

Загрязняющее вещество	Ставки платы за выбросы основных загрязняющих веществ, руб/т						
	2025г.	2026 г.	2027 г.	2028 г.	2029 г.	2030 г.	2030/2025
NO	141,19	147,5	147,5	147,5	245,7	**491,5**	3,48
NO_2	209,59	219	294,9	491,5	983	**1965,9**	9,38
SO_2	68,55	196,6	589,8	983	1965,9	**3931,8**	57,4
Зола углей	22,8	491,5	1474,4	2457,4	4914,8	**9829,5**	431,1

Рост ставок платы за выбросы 2026 ⟶ 2030:
NO_x ≈× **9 раз**; SO_x ≈× **58 раз**; Зола ≈× **431 раз**

Уже сегодня целесообразно предусматривать модернизацию существующих и установку новых систем золоулавливания как на действующем оборудовании, так и на новых объектах.

Последовательность проведения исследования

Этапы исследования

1	2	3	4	5
Запрос данных генерирующим компаниям	Анализ структуры парка угольной генерации	Сопоставление значений выбросов с нормативами разных лет	Определение степени очистки для соблюдения нормативов 2026 г.	Подбор технологий и технико-экономическая оценка их применения
Сбор исходных данных о составе парка генерации, параметрах котлов, топливе, действующих системах очистки и выбросах.	Оценка структуры парка генерации: возраст котлов, мощность оборудования и распределение по периодам ввода.	Сравнение фактических и расчетных концентраций выбросов с нормативными требованиями разных лет.	Расчет требуемой эффективности очистки от NOx, SOx и золы для достижения нормативных значений концентраций, установленных на 2026 г.	Выбор технических решений и оценка их технико-экономической целесообразности внедрения.

Компании-партнеры, предоставившие данные

СГК | РусГидро | ИНТЕР РАО | ЮНИПРО

Структура данных от генерирующих компаний

Общее число проанализированных котлов — 272 шт.

СГК

Получены данные по **169** котлам

РусГидро

Получены данные по **113** котлам; в расчет включены **86** котлов

ИНТЕР РАО

Получены данные по **14** котлам

Юнипро

Получены данные по **3** котлам

Категория данных	СГК	РусГидро	ИнтерРАО	Юнипро
Перечень станций и котлов	✓	✓	✓	✓
Год ввода и параметры оборудования	✓	✓	✓	✓
Топливо и его характеристики	✓	✓	✓	✓
Действующие системы газоочистки	✓	✓	✓	✓
Данные по выбросам загрязняющих веществ	✓	✓	✓	✓

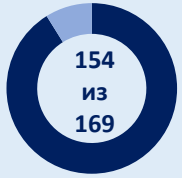
40%
30%
20%
10%

Полученные данные позволили проанализировать структуру парка, сопоставить выбросы с нормативами и провести последующую технико-экономическую оценку вариантов модернизации.

Анализ структуры мощностей парка угольной генерации АО «СГК» и ПАО «РусГидро»

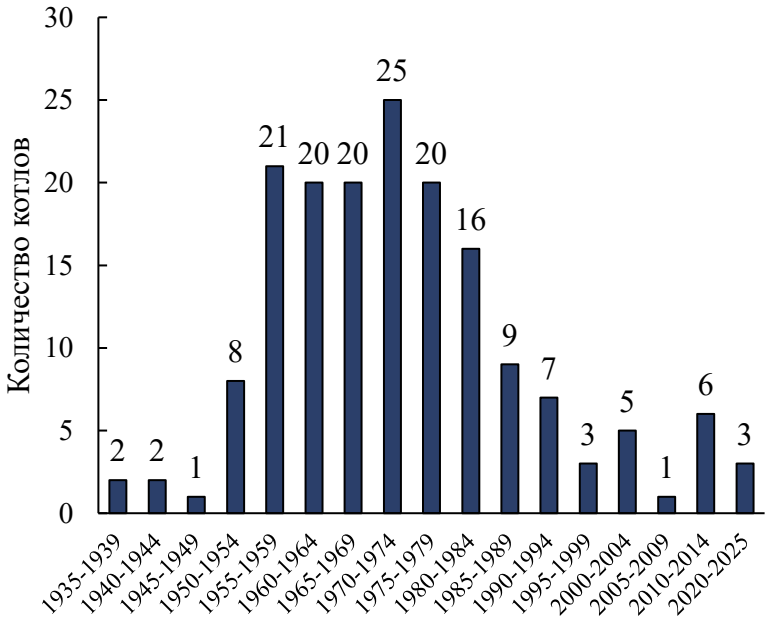
СГК

169 котлов



91% котлов введено до 2000 г.

Распределение котлов по годам ввода



Средний возраст оборудования **≈ 53 года.**

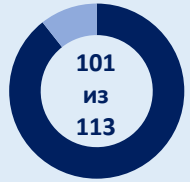
Пик ввода мощностей **1970–1974 гг. (25 котлов)**

После 2000 г. введено **15 котлов (9%)**

РусГидро

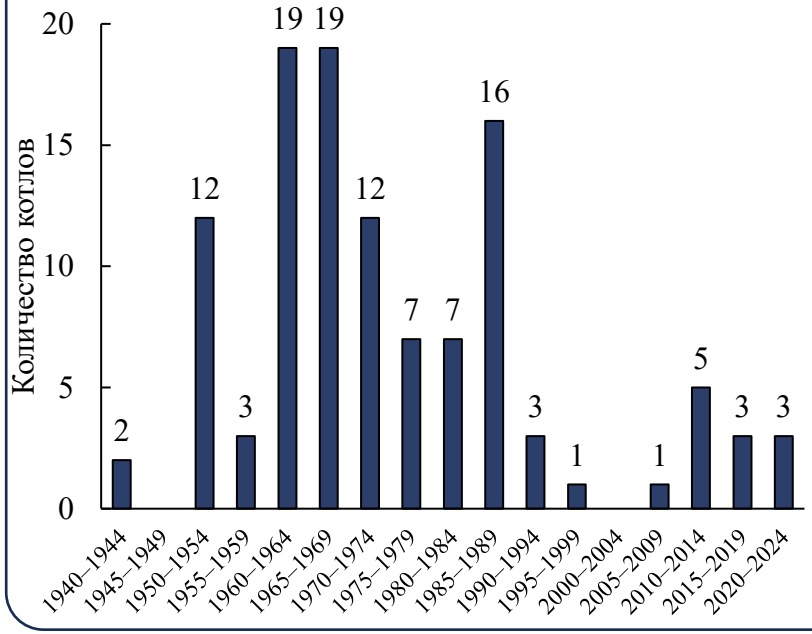
113 котлов

в расчет включены **86**



89% котлов введено до 2000 г.

Распределение котлов по годам ввода



Средний возраст оборудования **≈ 51 год.**

Пик ввода мощностей **1960-е гг. (38 котлов)**

После 2000 г. введено **12 котлов (11%)**

Ключевые выводы

1 АО «СГК» и ПАО «РусГидро» имеют наиболее возрастные парки генерации: средний срок эксплуатации составляет **51-53 года.**

2 В проектах старых энергоблоков **место** для установки систем газоочистки **зачастую не предусматривалось, их внедрение ограничено существующей инфраструктурой.**

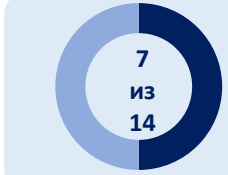
3 Для устаревшего оборудования целесообразно оценивать стоимость **глубокой реконструкции систем газоочистки со стоимостью вывода из эксплуатации и замещения новым генерирующим оборудованием.**

Вывод:

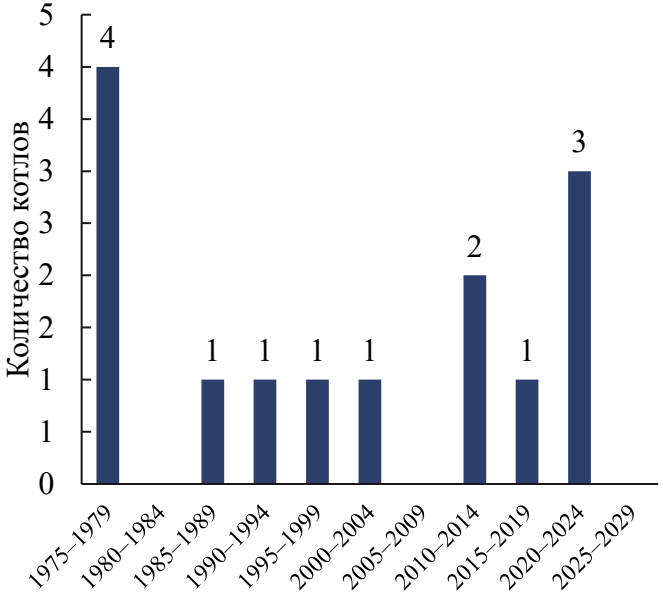
Для АО «СГК» и ПАО «РусГидро» целесообразно **поэтапное замещение наиболее старых энергоблоков новыми, в которых системы газоочистки предусматривается на стадии проектирования.**

Анализ структуры мощностей парка угольной генерации ПАО «ИнтерРАО» и ПАО «Юнипро»

ИНТЕР РАО | **14** котлов



50%
Котлов введено до 2000 г.

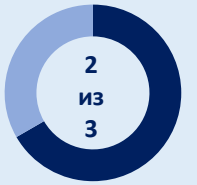


Средний возраст оборудования **≈ 27 лет.**

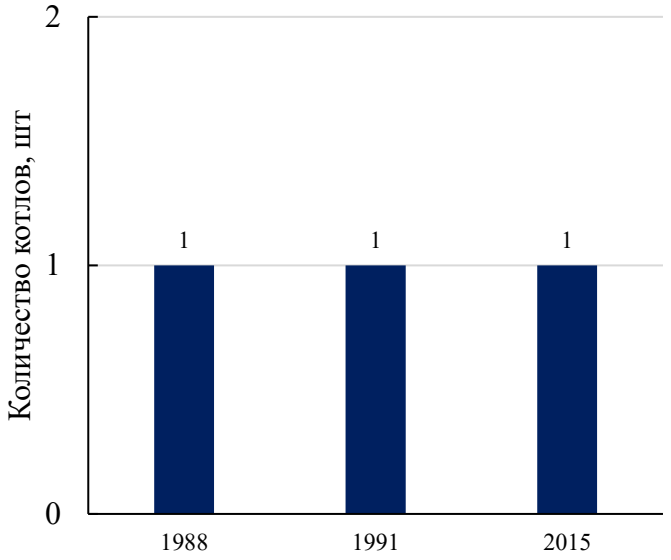
Обновление парка в 2010 – 2024 гг. (6 котлов, 43%)

Возрастная структура более равномерная по сравнению с АО «СГК» и ПАО «РусГидро».

ЮНИПРО | **3** котла



67%
Котлов введено до 2000 г.



Средний возраст оборудования **≈ 28 лет.**

Один из трех котлов введен в **2015 г.**

Все три котла относятся к одной станции — Березовской ГРЭС.

Ключевые выводы

1. ПАО «ИнтерРАО» и ПАО «Юнипро» имеют более молодой парк генерации по сравнению с АО «СГК» и ПАО «РусГидро»: средний возраст оборудования составляет **27 – 28 лет.**
2. Более молодой парк характеризуется меньшими **компоновочными ограничениями, что расширяет возможности модернизации систем газоочистки.**
3. Для каждой станции и котла целесообразно индивидуально оценивать **технико-экономическую эффективность** модернизации.

Вывод:
Для ПАО «ИнтерРАО» **модернизация рассматривается как альтернатива замещению.** Для ПАО «Юнипро» в связи с малым числом котлов, **решения должны применятся индивидуально**.

Текущие нормативные требования

NO_x

До 31.12.2000

БУ (ТШУ/ЖШУ): 600/800;
КУ (ТШУ/ЖШУ): 800/1000

→

01.01.2001-31.12.2025

БУ (ТШУ/ЖШУ): 500/500;
КУ (ТШУ/ЖШУ): 550/650

→

С 01.01.2026

БУ (ТШУ/ЖШУ): 300/300;
КУ (ТШУ/ЖШУ): 470/640

БУ – бурый уголь;
КУ – каменный уголь;
ТШУ/ЖШУ – тип шлакоудаления.

SO_2

До 31.12.2000

при $S^r \le 0{,}5\% \rightarrow 1400$;
при $S^r > 0{,}5\% \rightarrow 3000$

→

01.01.2001-31.12.2025

при $S^r \le 0{,}5\% \rightarrow 700$;
при $S^r > 0{,}5\% \rightarrow 1400$

→ Без дополнительного ужесточения →

С 01.01.2026

при $S^r \le 0{,}5\% \rightarrow 700$;
при $S^r > 0{,}5\% \rightarrow 1400$

Зола твердого топлива

До 31.12.2000

- **<500 МВт (<670 т/ч)**
  - $A^r < 10\% \rightarrow 600$
  - $10 \le A^r \le 20\% \rightarrow 600\text{-}900$
  - $A^r > 20\% \rightarrow 900$
- **≥500 МВт (≥670 т/ч)**
  - $A^r < 30\% \rightarrow 250$
  - $A^r \ge 30\% \rightarrow 800$

→

01.01.2001-31.12.2025

- **≥500 МВт (≥670 т/ч)**
  - → 250
- **≥500 МВт (≥670 т/ч)**
  - → 150

→

С 01.01.2026

- **<300 МВт (<420 т/ч)**
  - $A^r < 10\% \rightarrow 50$
  - $10 \le A^r \le 20\% \rightarrow 150\text{-}250$
  - $A^r > 20\% \rightarrow 250$
- **≥300 МВт (≥420 т/ч)**
  - $A^r < 10\% \rightarrow 50$
  - $10 \le A^r \le 20\% \rightarrow 50\text{-}150$
  - $A^r > 20\% \rightarrow 150$

Сценарии рассматриваемые при анализе

1 «Чистый воздух»

Курс на сокращение выбросов

2 Сценарное допущение

Требования к действующим ТЭС могут быть ужесточены

3 Ориентир для расчета

Предполагается применение нормативов 2026 года к действующим блокам в качестве первого приближения

ДВА РАСЧЁТА ДЛЯ ОДНОГО ПАРКА КОТЛОВ

Действующие нормативы

Сколько котлов соответствуют нормативным требованиям по выбросам загрязняющих веществ

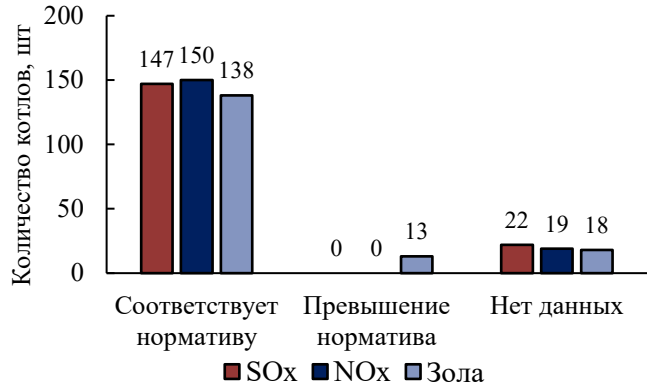
Расчетный сценарий: нормативы 2026 года

Сколько котлов потребуют модернизации мер по газоочистке при ужесточении нормативов до уровня 2026 года

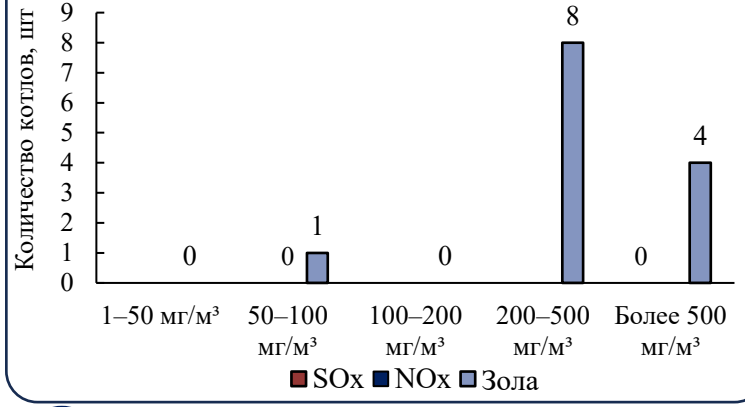
Анализ принятых мер по газоочистке на действующих объектах генерации компании АО «СГК» (169 котлов участвуют в расчете)

По действующим нормативам

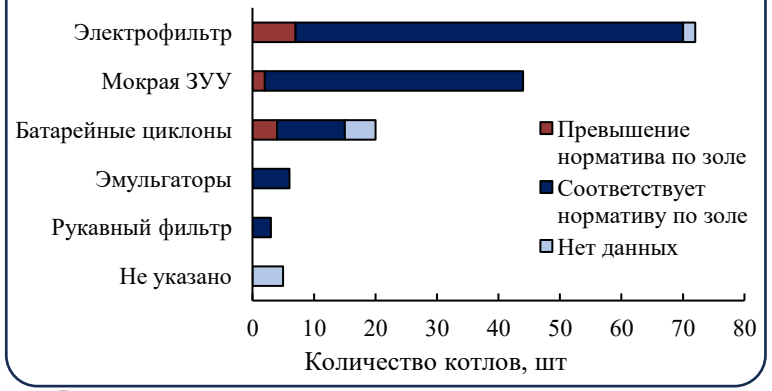
1 Масштаб несоответствия
Сколько котлов превышают норматив?



2 Величина превышений
Насколько велико превышение?

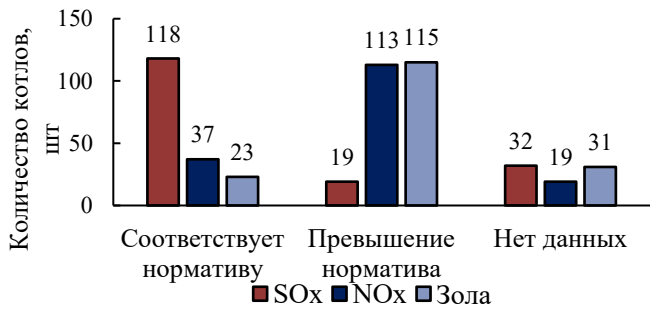


3 Мероприятия по ЗУУ
Где наблюдается превышение по золе?

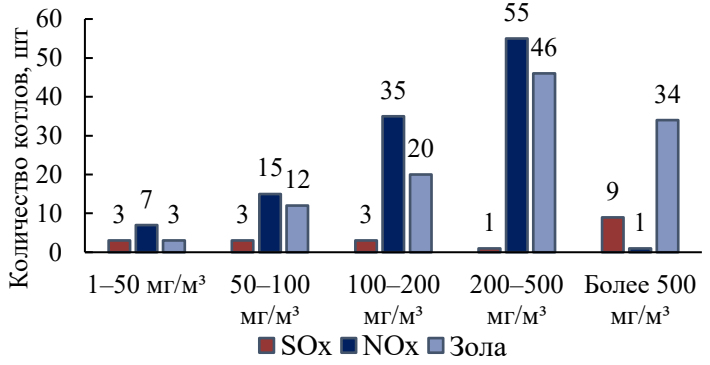


С 01.01.2026

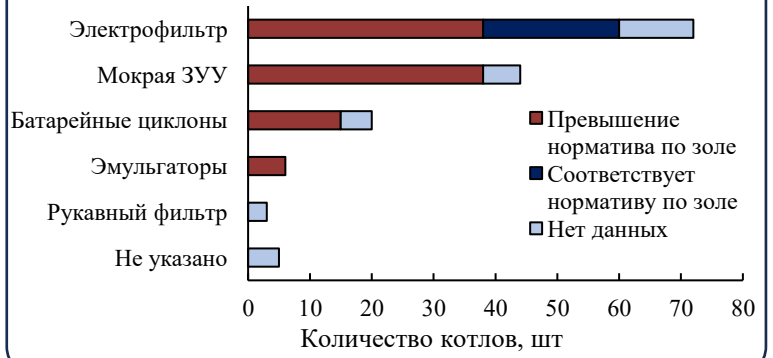
1 Масштаб несоответствия
Сколько котлов превышают норматив?



2 Величина превышений
Насколько велико превышение?



3 Мероприятия по ЗУУ
Где наблюдается превышение по золе?



СГК

Масштаб несоответствия:

По действующим нормативам превышения нормативных значений выбросов ограничены: по **выбросам золы — 13 котлов**. С 01.01.2026 г. число несоответствий **существенно возрастает: 19, 113 и 115 котлов соответственно.**

Величина превышений:

С 01.01.2026 г. основные превышения приходятся на NO_x и золу: по выбросам NO_x у **55 котлов** превышение **200–500 мг/м³**, по выбросам золы у **46 котлов — 200–500 мг/м³**, у **34 по выбросам золы — более 500 мг/м³**.

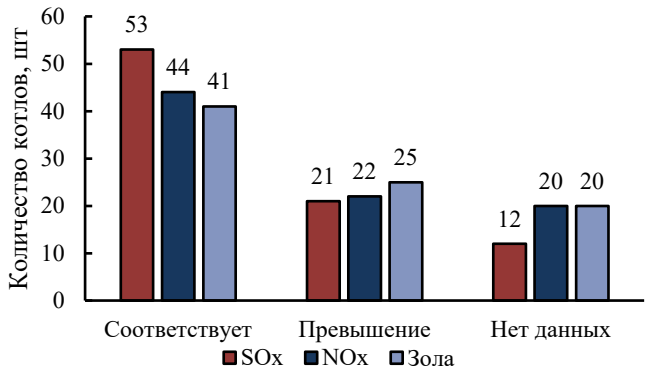
Рекомендации по ЗУУ:

Рекомендуется **вывод из эксплуатации батарейных циклонов, мокрых золоуловителей, эмульгаторов**. Рекомендуется **их поэтапная замена современными электрофильтрами или рукавными фильтрами.**

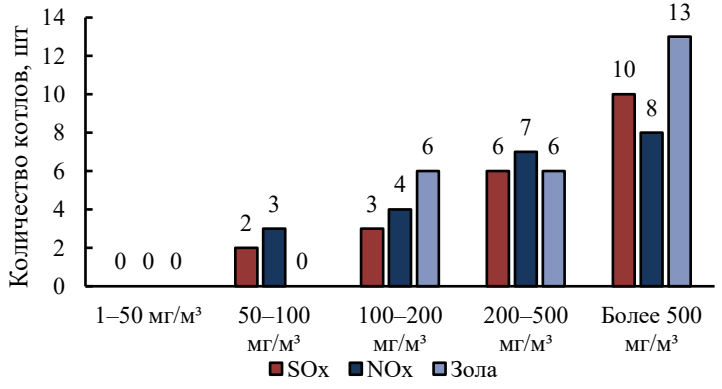
Анализ принятых мер по газоочистке на действующих объектах генерации компании ПАО «РусГидро» (86 котлов участвуют в расчете)

По действующим нормативам

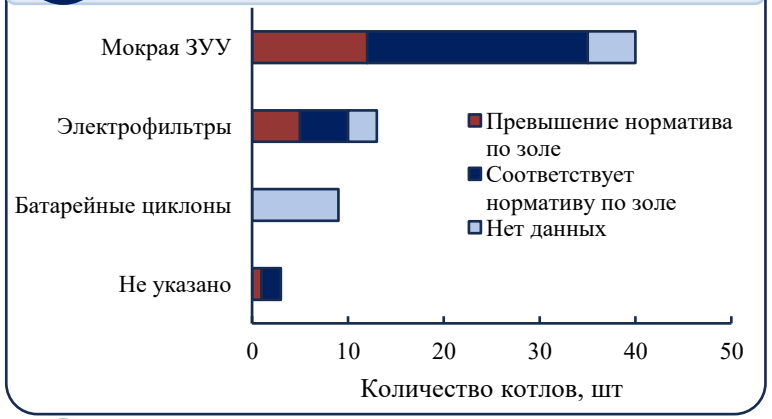
1 Масштаб несоответствия
Сколько котлов превышают норматив?



2 Величина превышений
Насколько велико превышение?

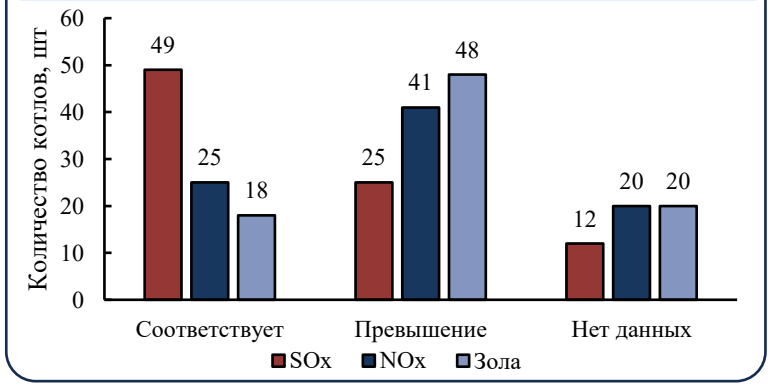


3 Мероприятия по ЗУУ
Где наблюдается превышение по золе?

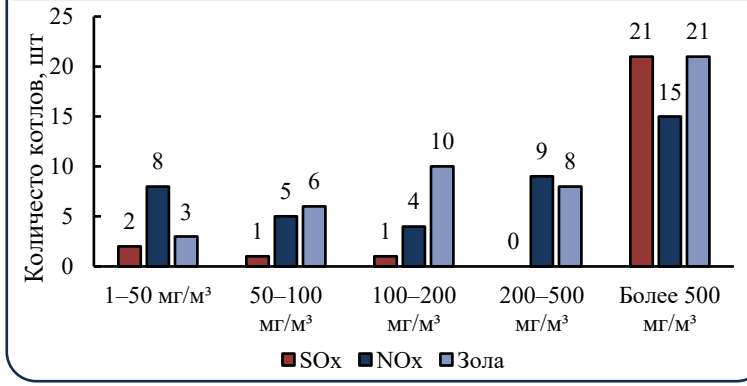


С 01.01.2026

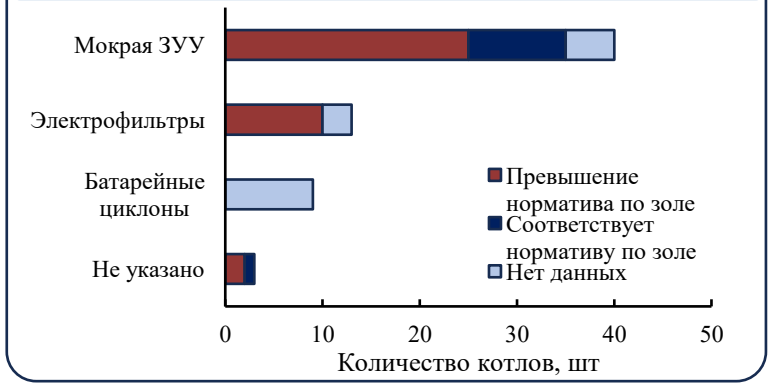
1 Масштаб несоответствия
Сколько котлов превышают норматив?



2 Величина превышений
Насколько велико превышение?



3 Мероприятия по ЗУУ
Где наблюдается превышение по золе?



РусГидро

Масштаб несоответствия:

По действующим нормативам **превышения выявлены у 21 котла по SO_x, у 22 — по NO_x и у 25 — по золе.**

Величина превышений:

Наиболее серьезные превышения наблюдаются по выбросам SO_x и золы.
С 2026 г. превышение **более 500 мг/м³ имеют 21 котел по выбросам SO_x, 15 — по выбросам NO_x и 21 — по выбросам золы.**

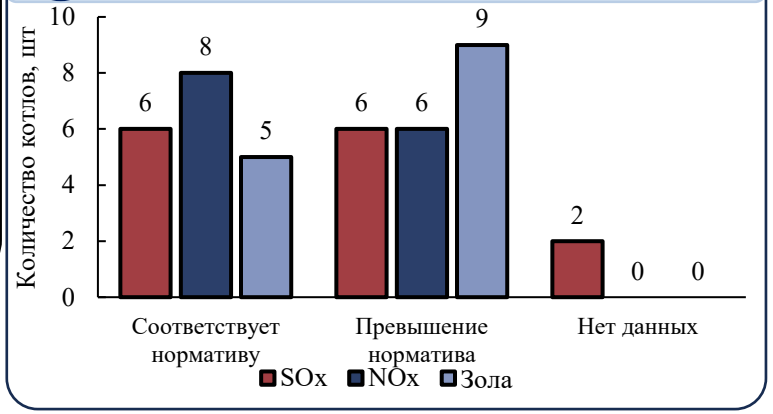
Рекомендации по ЗУУ:

Первоочередной модернизации или **замене подлежат мокрые золоуловители и скрубберы.**
Для части котлов **с электрофильтрами также требуется их повышение эффективности улавливания.**

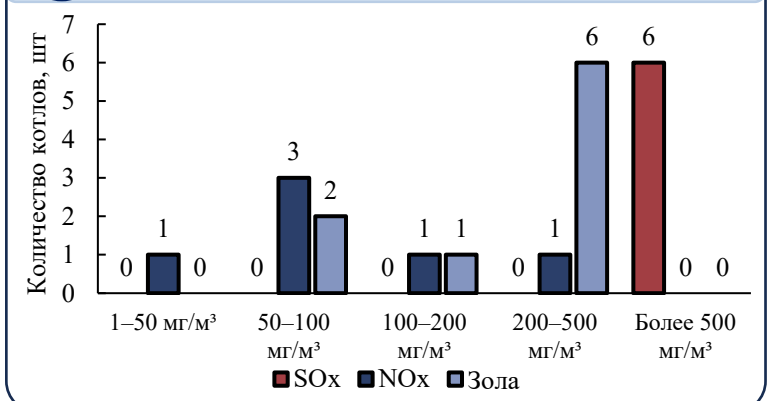
Анализ принятых мер по газоочистке на действующих объектах генерации компании ПАО «ИнтерРАО» (14 котлов участвуют в расчете)

По действующим нормативам

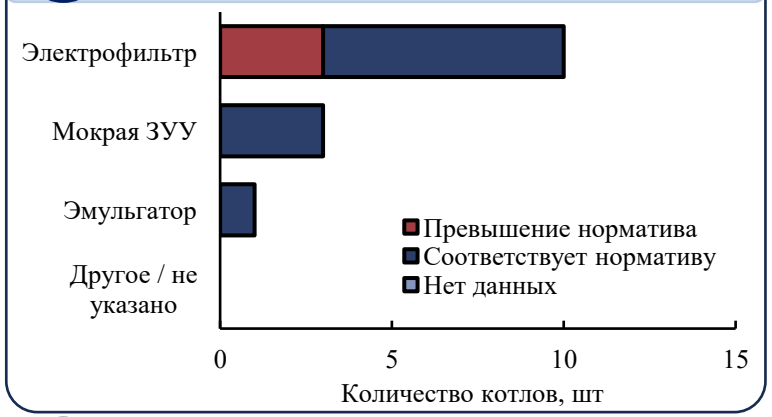
1 Масштаб несоответствия
Сколько котлов превышают норматив?



2 Величина превышений
Насколько велико превышение?

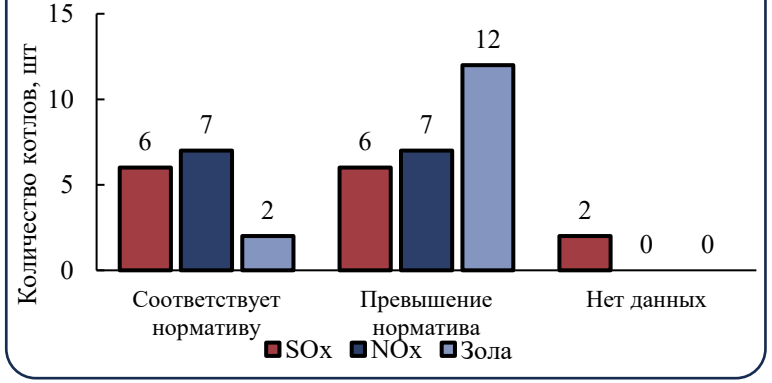


3 Мероприятия по ЗУУ
Где наблюдается превышение по золе?

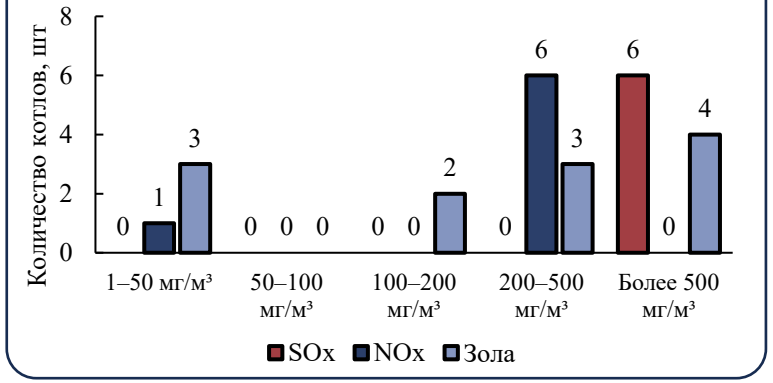


С 01.01.2026

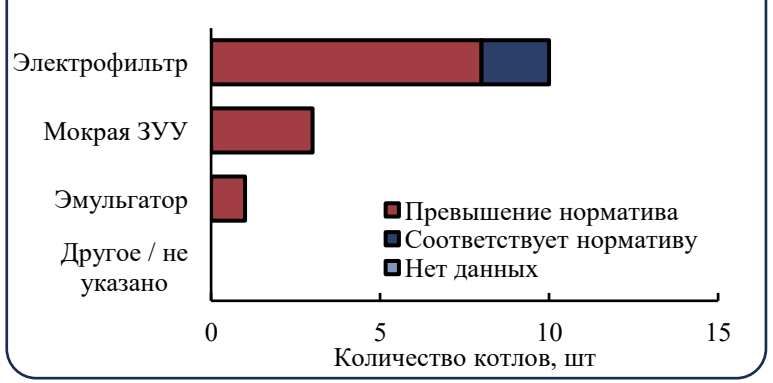
1 Масштаб несоответствия
Сколько котлов превышают норматив?



2 Величина превышений
Насколько велико превышение?



3 Мероприятия по ЗУУ
Где наблюдается превышение по золе?



Масштаб несоответствия:

По действующим нормативам превышения имеют 6 котлов по выбросам **SO_x, 6 — по выбросам NO_x и 9 — по выбросам золы**.
С 2026 г. — **6, 7 и 12 котлов** соответственно.

Величина превышений:

Наиболее выраженная ситуация по выбросам SO_x:у всех 6 котлов превышение составляет **более 500 мг/м³**.
С 2026 г. по выбросам NO_x у 6 котлов превышение **200–500 мг/м³.**

Рекомендации по ЗУУ:

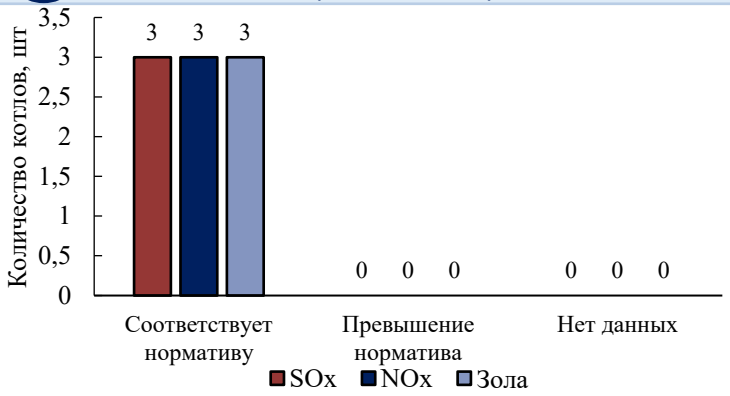
Мокрые ЗУУ с трубой Вентури и эмульгаторы не обеспечивают требования 2026 г.
Рекомендуется их **замена**, а электрофильтры целесообразно **реконструировать** до высокой эффективности.

ИНТЕР РАО

Анализ принятых мер по газоочистке на действующих объектах генерации компании ПАО «Юнипро» (3 котла участвует в расчете)

По действующим нормативам

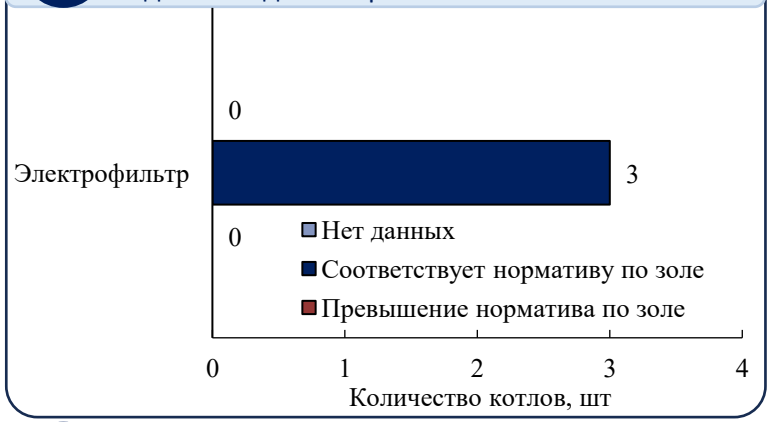
1 Масштаб несоответствия
Сколько котлов превышают норматив?



2 Величина превышений
Насколько велико превышение?

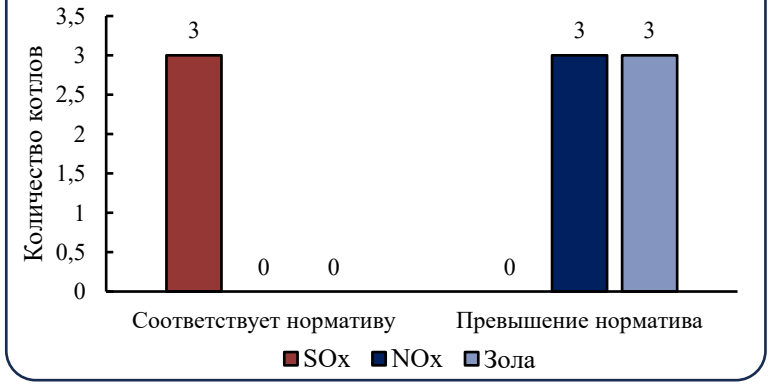
Превышений по действующим нормативам нет!

3 Мероприятия по ЗУУ
Где наблюдается превышение по золе?

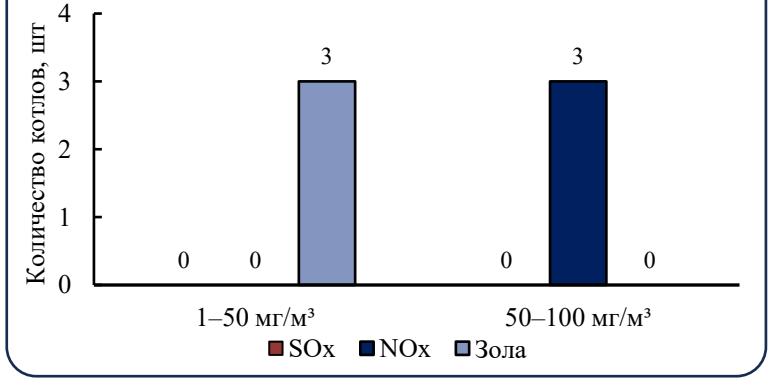


С 01.01.2026

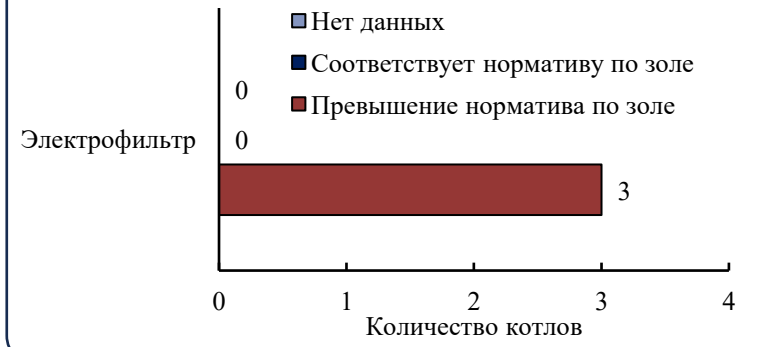
1 Масштаб несоответствия
Сколько котлов превышают норматив?



2 Величина превышений
Насколько велико превышение?



3 Мероприятия по ЗУУ
Где наблюдается превышение по золе?



Масштаб несоответствия:

По действующим нормативам **все 3 котла соответствуют требованиям.**
С 2026 г. превышения появляются по выбросам NO_x и золы у всех 3 котлов; по выбросам SO_x превышений нет.

Величина превышений:

Превышения имеют умеренный характер:
по выбросам **NO_x — 50–100 мг/м³,по выбросам золы — 1–50 мг/м³.**

Рекомендации по ЗУУ:

Для ПАО «Юнипро» рекомендуется **модернизация действующих электрофильтров**, а по выбросам NO_x — **внедрение первичных мероприятий** (малотоксичные горелки, ступенчатое сжигание).

Технико-экономические показатели действующих и перспективных систем газоочистки

NO_x — Оксиды азота

Снижение выбросов NO_x

Действующие технологии (базовые решения)

Рециркуляция дымовых газов
15-20%
CAPEX = 80,82 руб./кВт
OPEX = 16,2 руб./МВт·ч

Двухступенчатое сжигание
20-30%
CAPEX = 188,58 руб./кВт

Малотоксичные горелки
30-40%
CAPEX = 314,30 руб./кВт

Трёхступенчатое сжигание
38%
CAPEX = 274 руб./кВт
OPEX = 136,9 руб./МВт·ч

Перспективные технологии

СНКВ*
40-60%
CAPEX = 1446 руб./кВт
OPEX = 94 руб./МВт·ч

СКВ
80%
CAPEX = 10776 руб./кВт
OPEX = 220 руб./МВт·ч

*Не рассматривается ввиду сильного снижения надежности

SO_x — Диоксид серы

Снижение выбросов SO_x

Действующие технологии (базовые решения)

Упрощенная мокро-сухая сероочистка
50-60%
CAPEX = 620 руб./кВт
OPEX = 3750 руб./МВт·ч

Перспективные технологии

Аммиачно-сульфатная сероочистка
90 %
CAPEX = 6000 руб./кВт
OPEX = 4130 руб./МВт·ч

Мокрая известняковая очистка
90 %
CAPEX = 6053 руб./кВт
OPEX = 4500 руб./МВт·ч

Мокро-сухая сероочистка (NID технология)*
CAPEX = 8900 руб./кВт
OPEX = 870,4руб./МВт·ч

*NID включает совместную золоочистку

Зола — Твердые частицы

Снижение выбросов золы

Действующие технологии (базовые решения)

Мокрые скрубберы с трубой Вентури
92-98%
CAPEX = 682,48 руб./кВт
OPEX = 7,0 руб./МВт·ч

Электрофильтры
99,5%
CAPEX = 2945,44 руб./кВт
OPEX = 24,3 руб./МВт·ч

Электрофильтры
99,75%
CAPEX = 3952,00 руб./кВт
OPEX = 29,6 руб./МВт·ч

Электрофильтры
99,9%
CAPEX = 4041,00 руб./кВт
OPEX = 36,8 руб./МВт·ч

Рукавные фильтры
99,9%
CAPEX = 4041,00 руб./кВт
OPEX = 210,1 руб./МВт·ч

Перспективные технологии

Двухступенчатая сухая золоочистка
99,9%
CAPEX = 4200 руб./кВт
OPEX = 1235 руб./МВт·ч

Химическое кондиционирование газов
Уменьшение проскока золы после электрофильтра в 2,5 раза
CAPEX = 1349 руб./кВт
OPEX = 6,0 руб./МВт·ч

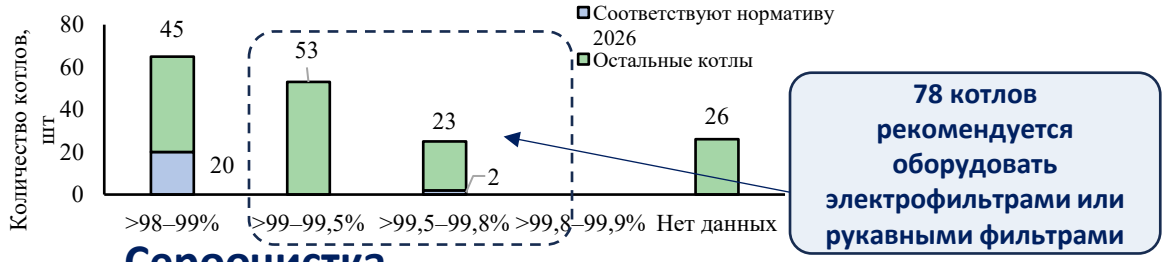
Ключевой вывод: повышение эффективности очистки сопровождается ростом CAPEX и OPEX. Перспективные технологии обеспечивают более глубокую очистку, но требуют отдельной технико-экономической оценки внедрения.

Необходима степень очистки от рассматриваемых загрязняющих веществ для станций компаний АО «СГК» и ПАО «РусГидро» при нормативах 2026 года

АО «СГК»
Сибирская генерирующая компания

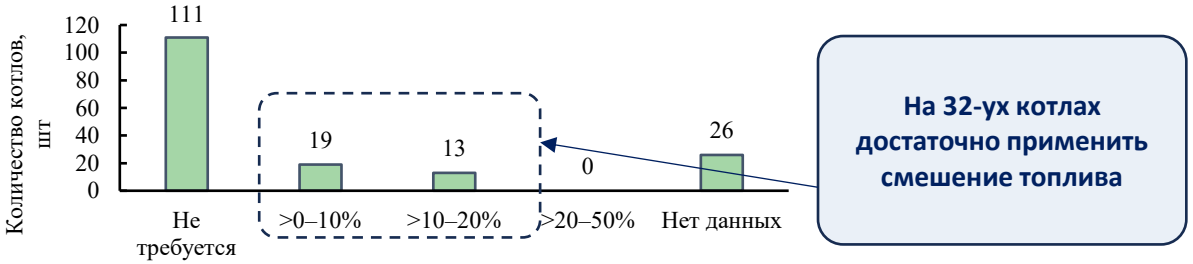
169 котлов

Золоулавливание



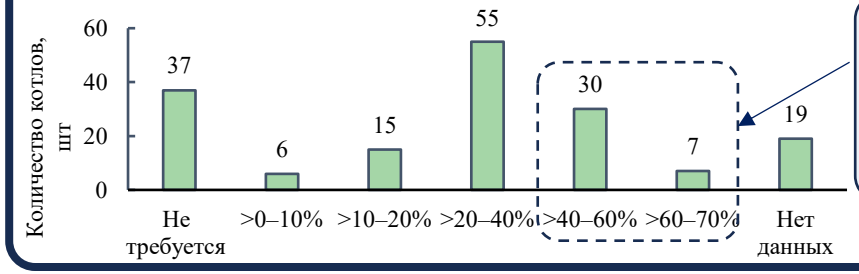
78 котлов рекомендуется оборудовать электрофильтрами или рукавными фильтрами

Сероочистка



На 32-ух котлах достаточно применить смешение топлива

Подавление оксидов азота

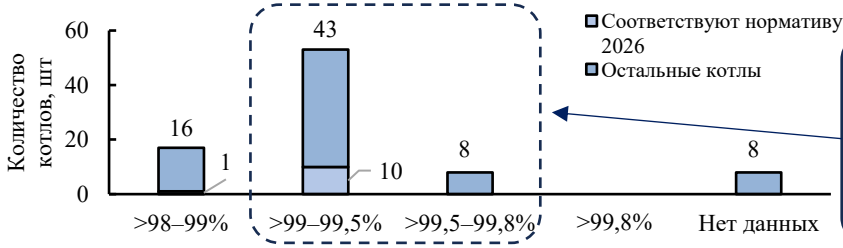


На 37 котлах рекомендуется применение системы СКВ, для остальных достаточно первичных методов

ПАО «РусГидро»
РусГидро

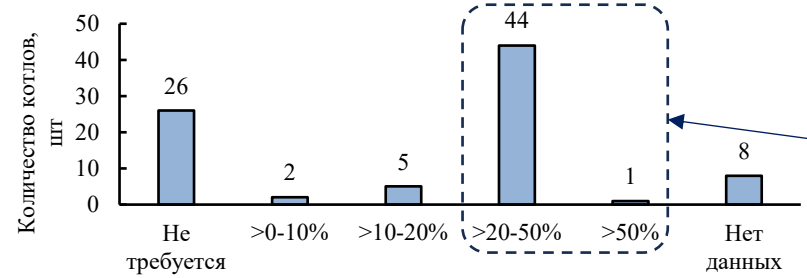
86 котлов

Золоулавливание



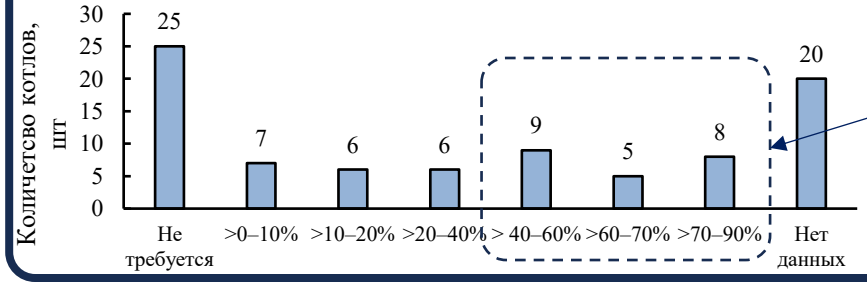
61 котел рекомендуется оснастить электрофильтрами или рукавными фильтрами

Сероочистка



На 45-ти котлах рекомендуется мокро-сухая сероочистка, для остальных достаточно применить смешение топлива

Подавление оксидов азота



На 22 котлах рекомендуется применение системы СКВ, на остальных достаточно первичных методов

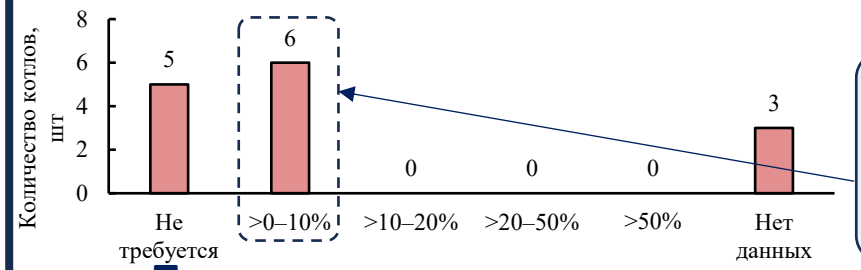
Необходима степень очистки от рассматриваемых загрязняющих веществ для станций компаний ПАО «ИнтерРАО» и ПАО «Юнипро» при нормативах 2026 года

ПАО «ИнтерРАО» — ИнтерРАО — 14 котлов

Золоулавливание

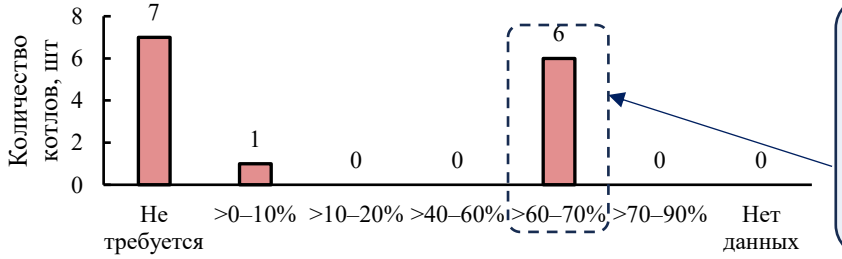
На 11-ти котлах рекомендуется внедрить электрофильтры или рукавные фильтры

Сероочистка



На 6-ти котлах достаточно применения смешения топлива

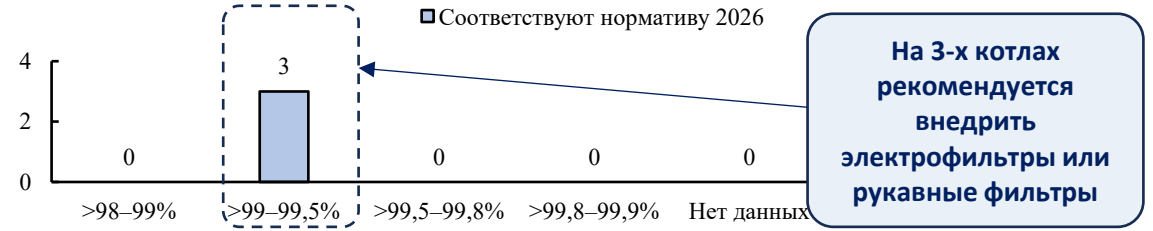
Подавление оксидов азота



На 6-ти котлах рекомендуется применение СКВ, для остальных достаточно первичных методов

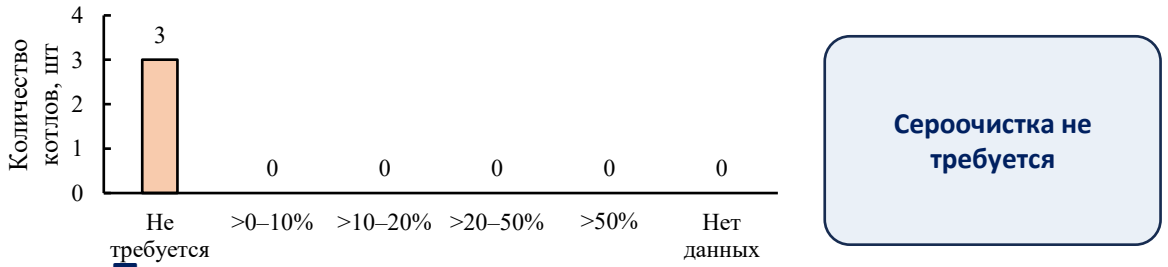
ПАО «Юнипро» — Юнипро — 3 котла

Золоулавливание



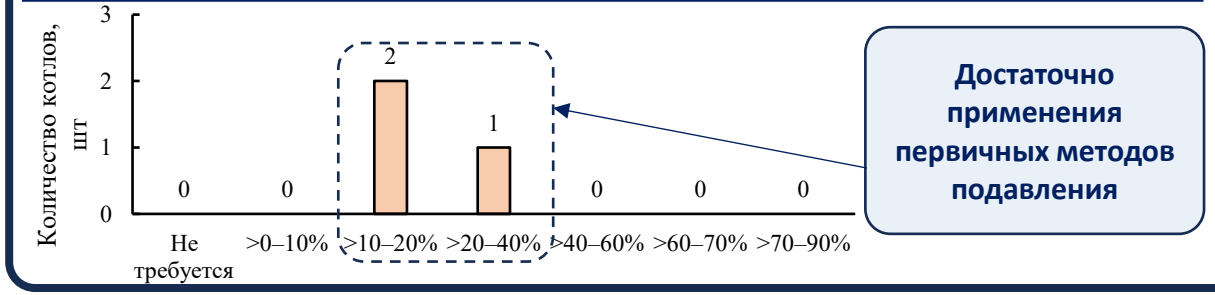
На 3-х котлах рекомендуется внедрить электрофильтры или рукавные фильтры

Сероочистка



Сероочистка не требуется

Подавление оксидов азота



Достаточно применения первичных методов подавления

Характеристика действующих и перспективных систем газоочистки

№	Технология улавливания	Целевое вещество	Степень очистки (ε)	Удельные кап. затраты, руб./кВт ($C_{уд}$)	Удельные экспл. затраты, руб./МВт·ч ($C_{уд,эксп}$)	Доля затрат на ремонт*, % $C_{уд}$/год ($k_{рем}$)	Доля потребления ЭЭ, % (ΔW)
	Действующие системы газоочистки						
1	Двухступенчатое сжигание	NOx	0,25	188,58	≈0	4,29	≈0
2	Малотоксичные горелки	NOx	0,35	314,3	≈0	4,29	≈0
3	Трехступенчатое сжигание	NOx	0,375	274	136,9	4,29	≈0
4	Селективно некаталитическое восстановление оксидов азота (СНКВ)	NOx	0,5	1446	94	3,09	0,07
5	Аммиачно-сульфатная сероочистка	SO_2	0,9	6000	4130	3,09	1,5
6	Мокрые скруббера с трубой Вентури	Зола	0,95	682,48	7	4,07	1
7	Электрофильтры (99,5%)	Зола	0,995	2945,44	24,3	4,07	0,08
8	Электрофильтры (99,75%)	Зола	0,9975	3592	29,6	4,07	0,09
19	Электрофильтры (99,9%)	Зола	0,999	4041	36,8	4,07	0,1
10	Рукавные фильтры	Зола	0,999	4041	210,1	4,07	0,25
	Перспективные системы газоочистки						
11	Селективно каталитическое восстановление оксидов азота (СКВ)	NOx	0,8	10776	220	3,09	0,03
12	Упрощенная мокро-сухая сероочистка	SO_2	0,55	620	3750	3,09	0,03
13	Мокрая известняковая очистка	SO_2	0,9	6053	4500	3,09	0
14	Мокро-сухая сероочистка (NID технология)	SO_2	0,9	8900 (с рукавным фильтром)	870,4 (с рукавным фильтром)	3,09	0,9
15	Двухступенчатая сухая золоочистка	Зола	0,999	4200	1235	4,29	0,03
16	Хим. кондиционирование газов	Зола	Уменьшение проскока золы после электрофильтра в 2,5 раза	1349	6	3,09	0,05

* - Доля ежегодных отчислений в ремонтный фонд принята согласно нормативам затрат на ремонт соответствующего вида газоочистного оборудования, установленных в процентах от балансовой стоимости согласно СО 34.20.611-2003.

Постоянные параметры моделирования

Параметры моделирования

Параметр	Обозначение	Значение
Ставка дисконтирования, %	r	14
Ресурс системы газоочистки (с учетом ремонтов), лет	T	40
Продолжительность строительно-монтажных работ, лет	$T_{\text{смр}}$	1
Коэффициент за превышение допустимых выбросов	K_P	25
Индекс потребительских цен, %	-	4
Индекс цен на электроэнергию*, %	-	$\begin{cases} 7, \text{до } 2031 \text{ г.} \\ 4, \text{после } 2031 \text{ г.} \end{cases}$
Коэффициент использования установленной мощности	CF	0,4605

* - Стоимость электрической энергии, руб./кВт·ч, определена на основе прогнозных индексов цен РСВ, опубликованных Ассоциацией «НП Совет рынка» для субъектов Российской федерации на 2026 год.

Модель оценки экономического эффекта от внедрения систем газоочистки на угольные ТЭС

Компонент	Формула
Чистый дисконтированный доход, руб.	$ЧДД = \sum_{t=1}^{T_{смр}+T} \frac{\Delta C_{эко,t} - \Delta C_{эксп} - \Delta C_{рем}}{(1+r)^t} - C_{кап}$
Капитальные затраты на строительство системы газоочистки, руб.	$C_{кап} = \sum_i \frac{C_{уд,i} \cdot N}{T_{смр}}$
Экономия затрат на выбросы загрязняющий веществ, руб.	$\Delta C_{эко} = \sum_i (C_{факт,i} - C_{персп,i})$
Фактические затраты на выбросы загрязняющего вещества, руб.	$C_{факт} = \begin{cases} m_{факт} \cdot P, при\ m_{факт} < m_{пдв} \\ (m_{факт} - m_{пдв}) \cdot P \cdot K_P + m_{пдв} \cdot P, при\ m_{факт} > m_{пдв} \end{cases}$
Затраты на выбросы загрязняющего вещества при внедрении системы газоочистки, руб.	$C_{персп} = \begin{cases} m_{персп} = m_{факт} \cdot (1-\varepsilon) \\ m_{персп} \cdot P, при\ m_{персп} < m_{пдв,26} \\ (m_{персп} - m_{пдв,2026}) \cdot P \cdot K_P + m_{пдв,2026} \cdot P, при\ m_{персп} > m_{пдв,26} \end{cases}$
Годовые эксплуатационные затраты, руб.	$\Delta C_{эксп} = \Delta W \cdot W \cdot P_{ээ} + \sum_i (C_{уд,эксп,i} - C_{уд,эксп,факт}) \cdot W$
Годовые отчисления в ремонтный фонд, руб.	$\Delta C_{эксп} = \sum_i (k_{рем,i} \cdot C_{кап,i})$
Годовой объем выработки электроэнергии, кВт·ч	$W = N \cdot 8760 \cdot CF$

где N – установленная электрическая мощность энергоблока, кВт; $m_{факт}$ - удельные выбросы загрязняющего вещества в отсутствие системы газоочистки, т/ч; $m_{персп}$ - удельные выбросы загрязняющего вещества при внедрении системы газоочистки, т/ч; $m_{пдв}$ - предельные допустимые выбросы загрязняющего вещества до 2026 года, т/ч; $m_{пдв,26}$ - предельные допустимые выбросы загрязняющего вещества на 2026 год, т/ч; P – ставка платы за выбросы загрязняющего вещества, руб./т.

Оценка экономического эффекта от внедрения наиболее экономически эффективных технологий газоочистки на действующие угольные ТЭС

Основные финансовые показатели проектов строительства систем газоочистки на угольных ТЭС

Система улавливания NOx	Система золоулавливания	Количество котлов*	ЧДД**, млн руб.	Срок окупаемости**, лет
СГК				
Без модернизации		121	0,0	-
Малотоксичные горелки + двухступенчатое сжигание	-	4	9,9	1,83
РусГидро				
Без модернизации		23	0,0	-
-	Электрофильтры (99,5%)	22	379,3	1,92
Малотоксичные горелки + двухступенчатое сжигание	-	12	476,1	1,66
Малотоксичные горелки + двухступенчатое сжигание	Электрофильтры (99,5%)	3	144,8	1,99
-	Электрофильтры (99,75%)	3	761,2	1,94
Интер РАО				
Без модернизации		5	0,0	-
Малотоксичные горелки + двухступенчатое сжигание	-	2	97,0	1,97
Малотоксичные горелки + двухступенчатое сжигание	Электрофильтры (99,5%)	2	2300,0	1,91
Малотоксичные горелки	Электрофильтры (99,5%)	1	3299,6	1,87
Малотоксичные горелки	-	1	56,6	1,97

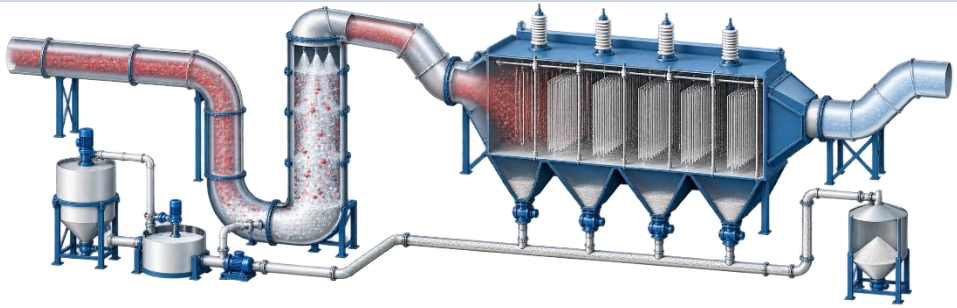
* - Для технико-экономического анализа перспективных технологий газоочистки рассмотрены 125 котлов СГК, 63 котла РусГидро, 11 котлов Интер РАО.

** - Приведенные ЧДД и срок окупаемости проектов строительства систем газоочистки являются средними оценками.

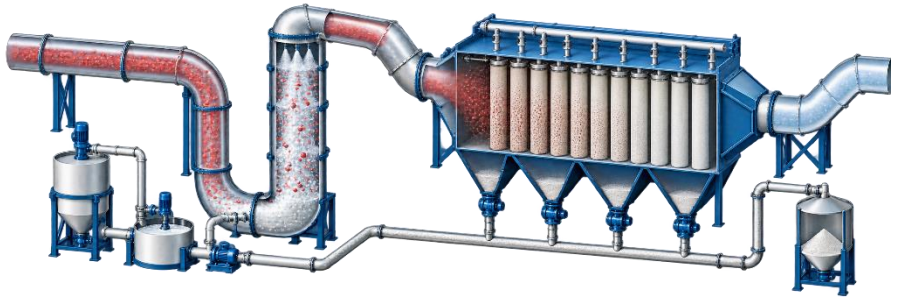
Оценка экономического эффекта от внедрения перспективных технологий газоочистки на действующие угольные ТЭС

SO_x · мокро-сухая сероочистка NID

Вариант 1: мокро-сухая сероочистка с электрофильтром

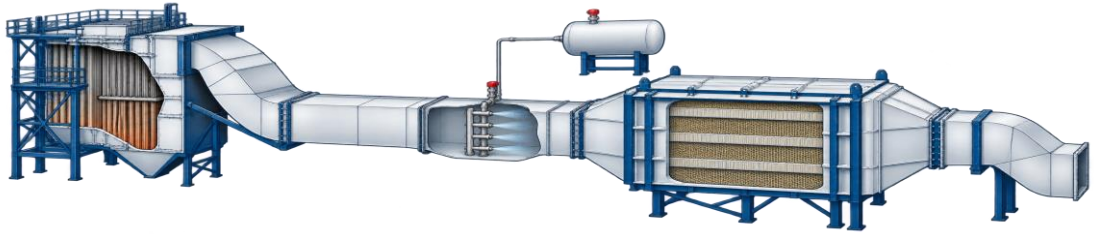


Вариант 2: мокро-сухая сероочистка с рукавным фильтром



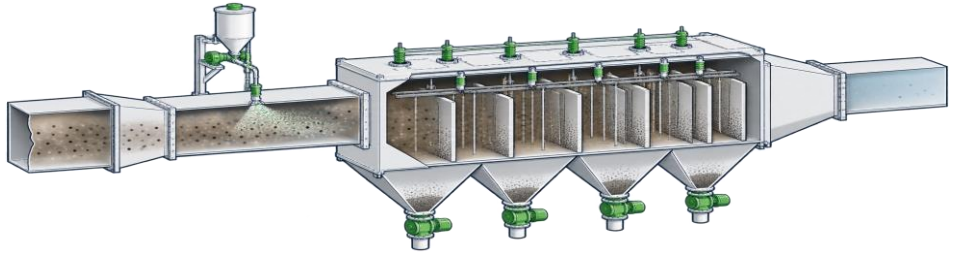
В J-газоходе SO_2 реагирует с известью и возвратной пылью. Золу удаляют электрофильтром или рукавным фильтром. Второй вариант предпочтительнее ввиду увеличения удельного сопротивления золы, что плохо для электрофильтра. Степень очистки: 90%.

NO_x · селективное каталитическое восстановление



NH_3 подают перед катализатором: NO_x разлагаются в N_2 и H_2O. Степень подавления оксидов азота до 80%

Зола · кондиционирование перед электрофильтром



Реагент меняет свойства летучей золы и улучшает ее осаждение. Проскок золы уменьшается в 2,5 раза.

На действующих и вновь строящихся станциях в текущих экономических условиях России данные технологии неэффективны. Однако они экономически оправданы при строительстве высокоэффективных блоков ССКП, где рост эффективности перекрывает затраты на газоочистку. Отработка технологий на новых блоках обеспечит снижение CAPEX и OPEX для последующего внедрения на действующем оборудовании, как минимум в части золоочистки.

Выводы на основании обработки данных от генерирующих компаний

1) **Проведен анализ парка угольной генерации четырех генерирующих компаний — АО «СГК», ПАО «РусГидро», ПАО «Интер РАО» и ПАО «Юнипро».** В исследование включены данные **по 272 котлам**, в том числе сведения о возрасте оборудования, топливе, действующих системах газоочистки и выбросах загрязняющих веществ.
2) **Большая часть рассмотренного оборудования введена в эксплуатацию до 2000 г.** Благодаря более мягким нормативным требованиям для оборудования ранних периодов ввода значительная часть котлов соответствует действующим нормативам, однако уже сейчас сохраняется существенное число котлов с превышениями по **NO_x, SO_x и золе.**
3) **В 2026–2030 гг. предусмотрен резкий рост ставок платы за выбросы загрязняющих веществ, особенно по золе** и SO_x. В результате годовая плата за выбросы для отдельных объектов может достигать **миллиардов рублей**, что повышает экономическую целесообразность внедрения и модернизации систем газоочистки.
4) **Возраст и существующая компоновка большинства действующих котлов ограничивают возможность размещения полномасштабных систем очистки газов от оксидов серы и азота**. При этом снижение выбросов золы может быть обеспечено менее масштабной реконструкцией: существующих электрофильтров и **заменой малоэффективных батарейных циклонов, мокрых золоуловителей, эмульгаторов и устаревших скрубберов на современные системы золоулавливания.**
5) **Для нового энергетического оборудования необходимо заранее предусматривать площади и компоновочные решения для полномасштабных систем газоочистки.** На действующих старых объектах их последующее внедрение может потребовать существенной перестройки газоходов, дымовых труб и общей компоновки станции, что во многих случаях **технически сложно и экономически нецелесообразно.**
6) **Рекомендуется замена или реконструкция существующих систем золоулавливания на более совершенные электрофильтры** (со степенью улавливания золы 99,5% и 99,75%) – 31 котел (16% от суммарного количества котлов)**; а также внедрение комплекса мер по подавлению образования NO_x с помощью малотоксичных горелок и двухступенчатого сжигания** – 25 котлов (13% от суммарного количества котлов).
7) **Внедрение систем улавливания SO_2 на существующие угольные ТЭС экономически не оправдано. Большинство котлов уже соответствуют действующим нормативам,** поэтому дополнительная очистка не даёт значимого снижения платы**.** При этом рекомендуется внедрение данных систем **на новых угольных энергоблоках на суперсверхкритических параметрах пара.**