



**научно-
производственное
предприятие**

Газоанализатор кислорода на основе планарного керамического чувствительного элемента

Конкин Дмитрий Сергеевич, инженер АО ЭКОН

Чернов Михаил Ефимович, главный инженер АО ЭКОН, к.т.н.



Наилучшим способом контролировать содержание кислорода в газовой атмосфере топливосжигающих установок и поддержание его на оптимальном уровне является твёрдоэлектродный газоанализатор кислорода, который позволяет:

- минимизировать расход топлива;
- сократить количество экологически вредных выбросов;
- увеличить срок службы оборудования.



Рисунок 1 – Серийный высокотемпературный датчик концентрации кислорода ЭКОН



Рисунок 2 – Серийный датчик концентрации кислорода ЭКОН



Принцип действия твёрдоэлектролитного сенсора

Важнейшая часть газоанализатора кислорода – твёрдоэлектролитный чувствительный элемент

Связь электродвижущей силы (ЭДС) сенсора с концентрацией кислорода и температурой описывается уравнением Нернста:

$$E = (R \cdot T) / (n \cdot F) \ln C / C_0 \quad (1)$$

где: R – универсальная газовая постоянная;

T – температура, K;

F – число Фарадея;

n – количество электронов, участвующих в реакции;

C – концентрация кислорода в исследуемой среде;

C₀ – концентрация кислорода на электроде сравнения.

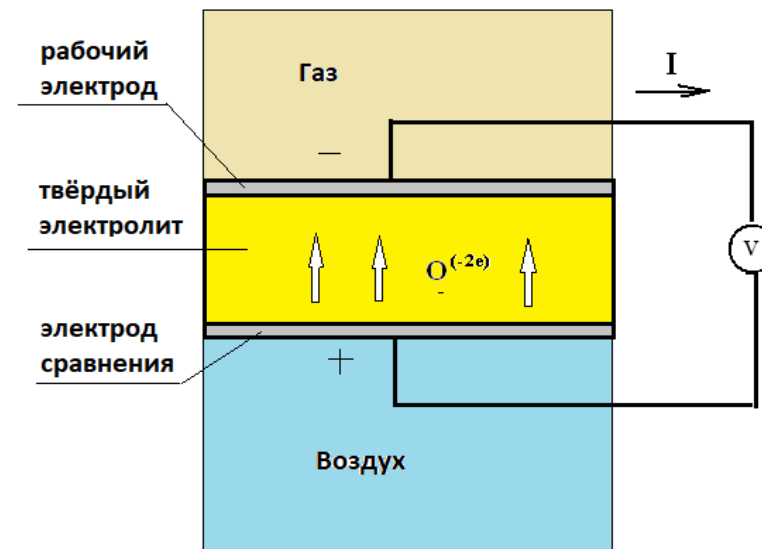
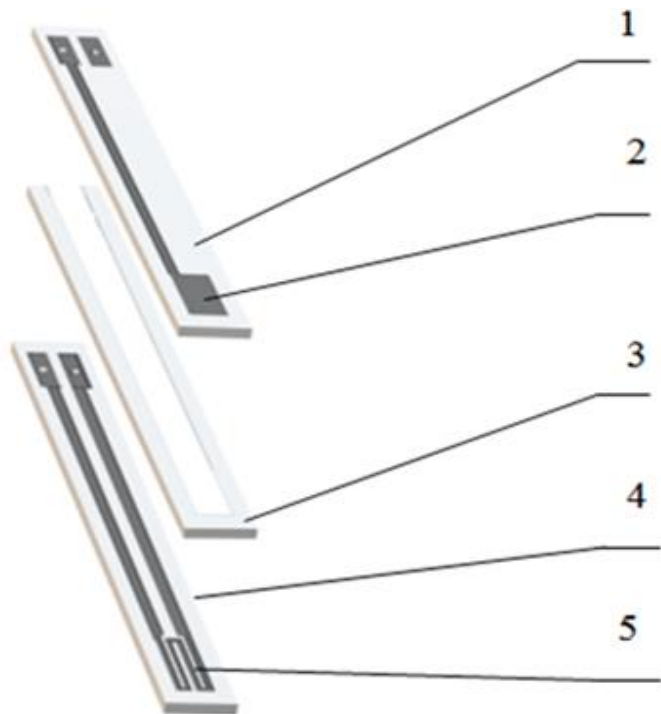


Рисунок 3 - Принцип действия твёрдоэлектролитного сенсора кислорода планарного типа



Конструкция планарного керамического чувствительного элемента



- 1 - твёрдый электролит на основе диоксида циркония (ZrO_2);
- 2 – электроды ЧЭ;
- 3 – изолятор – канал эталонного воздуха;
- 4 – пластина из $MgAl_2O_4$;
- 5 – нагревательный элемент.

$$t = E / E_{\text{изм.}} \quad (2)$$

где, t - среднее ионное число переноса;

E – расчётная ЭДС гальванического элемента;

$E_{\text{изм}}$ – измеренная ЭДС сенсора.

Рисунок 4 – Общий вид планарного керамического чувствительного элемента ЭКОН



Применение планарной конструкции при производстве твёрдоэлектролитного сенсора кислорода позволяет получить ряд преимуществ над ЧЭ таблеточного типа, применяемым в датчиках серийного производства:

1. **Технические преимущества:** сенсоры имеют меньшие габариты и массу, имеет меньшую инерционность и потребляемую мощность, обладает более высоким быстродействием при сопоставимой точности.
2. **Технологические преимущества:** планарная конструкция позволяет использовать более высокопроизводительное оборудование и уменьшить долю ручного труда, благодаря чему можно осуществить переход к групповой и массовой технологии .
3. **Экономические преимущества:** снижение массогабаритных характеристик и возможность использования групповой технологии, что позволяет снизить себестоимость и повысить конкурентные преимущества сенсора.



Рисунок 5 – Главный экран



Рисунок 7 – Параметры нагревателя

Зависимость для расчёта
концентрации кислорода

$$C = 100 \exp(-46418,11(k(U_s - U_0)/T) - 1,5612) \quad (3)$$

где k – коэффициент усиления;

U_s – ЭДС сенсора,

U_0 – компенсация ЭДС;

T – температура сенсора;



Рисунок 6 – Меню настроек



Программное обеспечение для управления и калибровки блока

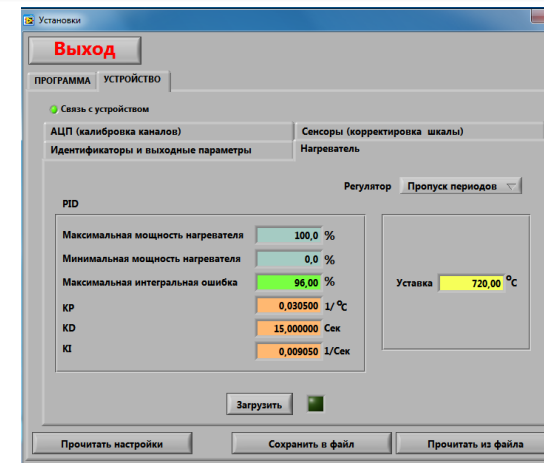
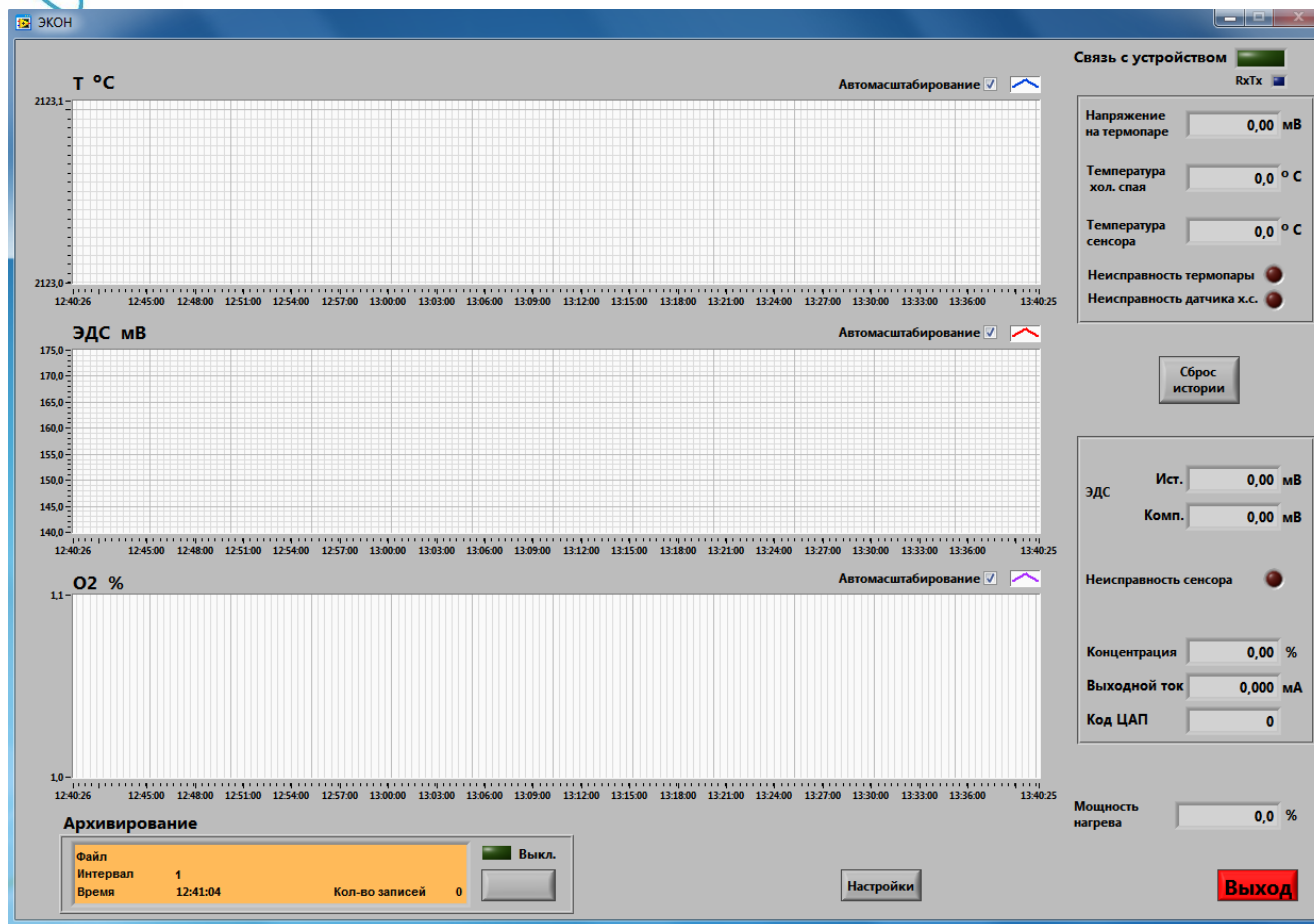


Рисунок 9 – Окно: «Нагреватель»

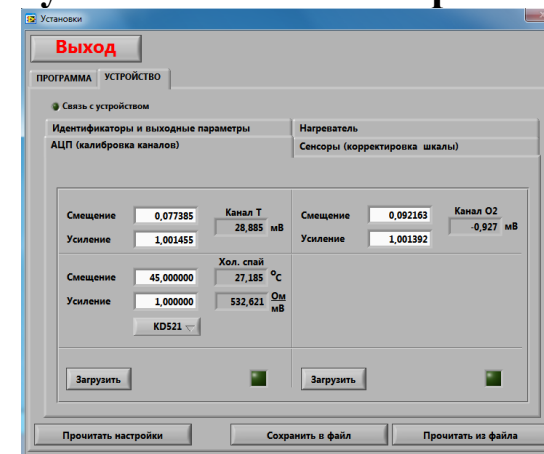


Рисунок 10 – Окно «АЦП (калибровка каналов)»

Рисунок 8 – Главная страница окна взаимодействия с блоком



Структурная блок-схема

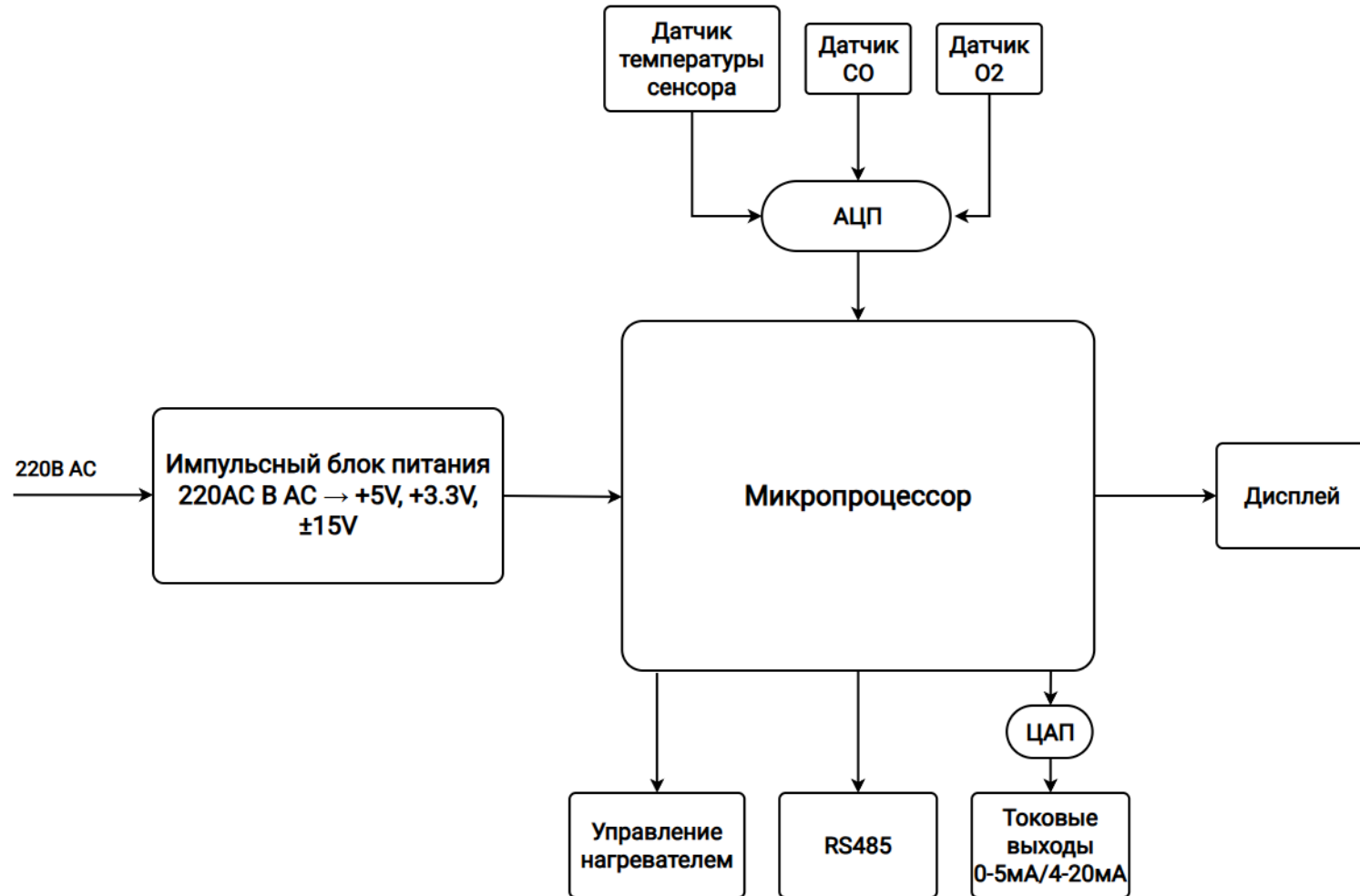


Рисунок 11 – Структурная блок-схема цифрового вторичного преобразователя



Калибровка газоанализатора



**Рисунок 13 – Шкаф управления
пневматикой и сбора данных**



Рисунок 12 – Общий вид стенда метрологии



**Рисунок 14 – Шкаф
управления печами
дополнительного
подогрева**

Газоанализатор считается выдержавшим испытания, если погрешность в каждой из точек проверки меньше допустимой основной погрешности:

$$\Delta 2,5 \leq (\Delta_d = 0,1 \% \text{ об.}); \quad \gamma 10 \leq (\gamma_d = 2,5 \%);$$

$$\gamma 5 \leq (\gamma_d = 2,5 \%); \quad \gamma 25 \leq (\gamma_d = 2,5 \%).$$



Разработка позволила создать газоанализатор с принципиально улучшенными характеристиками:

- высокая точность измерения концентрации кислорода;
- малое время выхода на рабочий режим ;
- пониженная потребляемая мощность ;
- уменьшенные масса и габаритные размеры датчика и электронного блока;
- возможность интеграции в системы автоматизированного управления (АСУ) топливосжигающих установок.

Сравниваемый параметр	Было	Стало
Погрешность Δd (%)	$\pm 2,5$	$\pm 2,5$
Нагрев (мин.)	~30	~5
Потребляемая мощность (Вт)	96	20
Массогабаритные размеры датчик/эл. блок(кг)	3/4,1	1/0,4

Новый прибор имеет улучшенные параметры и сниженную себестоимость



1 – серийный датчик кислорода ЭКОН;

2 – серийный аналоговый вторичный преобразователь ЭКОН;

3 – разрабатываемый датчик кислорода на основе планарного КЧЭ;

4 – разрабатываемый цифровой вторичный преобразователь.

Рисунок 15 – Сравнение габаритов



Газоанализатор с мая 2023г проходит испытание на котельной г. Обнинска, котле ДКВР – 20/13 №5.

В течение всего времени газоанализатор ЭКОН продемонстрировал надёжную бесперебойную работу, точность показаний, быстрое реагирования на изменение концентрации кислорода в уходящих газах во всех режимах работы котла, а также в процессе его запуска и остановки.

Результаты опытных испытаний разрабатываемого датчика подтверждены официальным Актом.

УТВЕРЖДАЮ
Директор
Филиала акционерного общества
«Русатом Инфраструктурные Решения»
А.А. Бобырь
2024

Акт
о результатах опытно-промышленной эксплуатации
анализатора кислорода «ЭКОН»
от 30.11.2024

Комиссия в составе:
Председатель комиссии:
Главный инженер – Володичев И.А.
Члены комиссии:
Начальник цеха теплоснабжения- заместитель главного инженера – Петров В.В.
Начальник котельного участка – Кочетков В.В.
Главный инженер АО «ЭКОН» – Чернов М.Е.

составила настоящий акт о том, что стационарный одноканальный «Анализатор кислорода ЭКОН» производства АО «ЭКОН» в комплекте:

1. Датчик, (длина погружной части 340 мм), зав. № 001 - 1 шт.
2. Блок электроники (токовые выходы 4-20 мА и RS485), зав. № 003 - 1 шт.
3. Соединительный кабель, 12м. – 1 шт.
4. Руководство по эксплуатации – 1 шт.
5. Шкаф ударопрочный RAM-box – 1 шт.
6. Автоматический электрический выключатель – 1 шт.

переданный в опытную эксплуатацию 31.05.2023 по соглашению 01-ОПЭ от 31.05.2023 и акту приёма-передачи оборудования №1 от 31.05.2023 и установленный на паровой котел ДКВР-20/13 № 5 в период с 01.06.2024 г. по 30.11.2024 г. отработал без нареканий. Общее непрерывное время работы анализатора «ЭКОН» на котле ДКВР-20/13 № 5 составляет 18 месяцев.

В ходе опытной эксплуатации анализатор «ЭКОН» продемонстрировал надёжную бесперебойную работу, точность показаний, быстрое реагирования на изменение концентрации кислорода в уходящих газах во всех режимах работы котла, а также в процессе его запуска и остановки.

Показания анализатора кислорода «ЭКОН» за весь период работы с 06.06.2023 по 25.10.24 приведены в Приложении 1 к Настоящему акту.

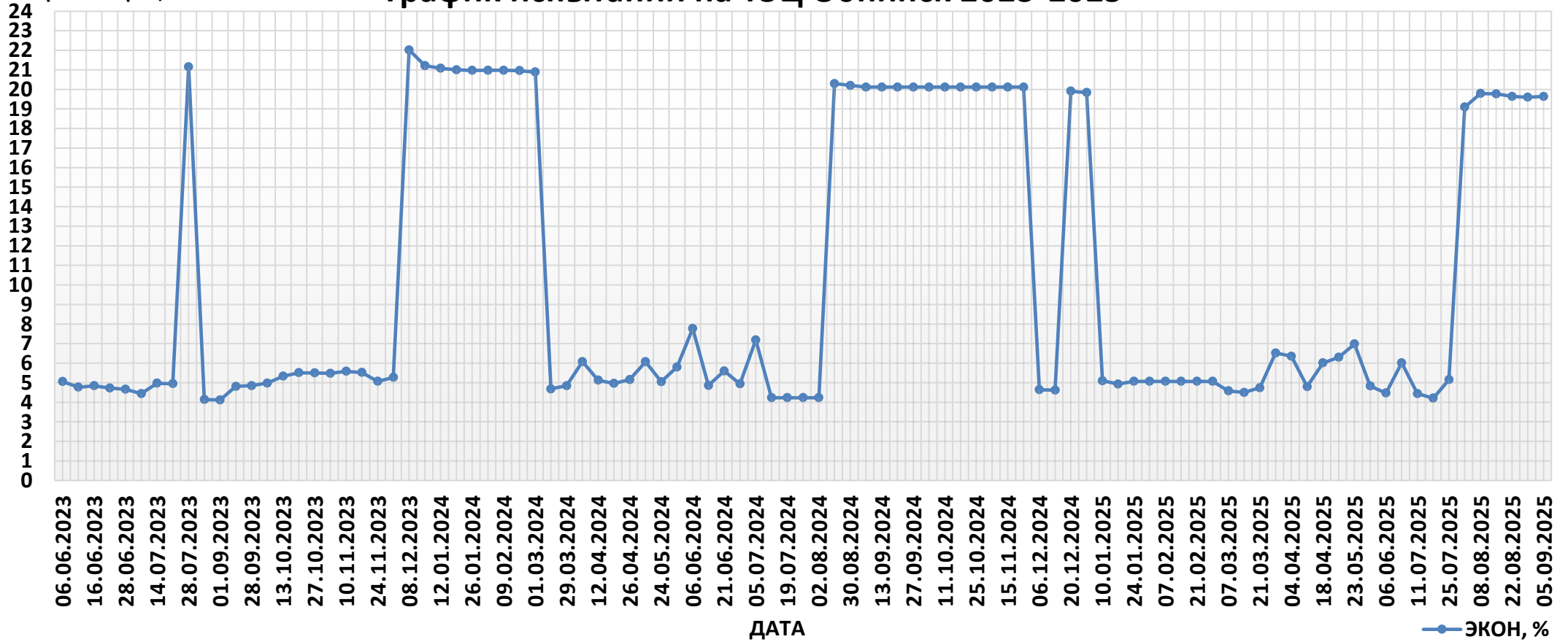
На основании данных сведений, принято решение о продолжении проведения опытно-промышленной эксплуатации стационарного одноканального «Анализатора кислорода ЭКОН» на срок – 6 месяцев с 01.12.2024 по 31.05.2025 г.

Председатель комиссии: _____ И.А. Володичев
Члены комиссии: _____ В.В. Петров
_____ В.В. Кочетков
_____ М.Е. Чернов



КОНЦЕНТРАЦИЯ, %

График испытаний на ТЭЦ Обнинск 2023-2025





- впервые разработан и создан отечественный газоанализатор кислорода отходящих газов с датчиком ЭКОН на основе керамических планарных технологий в соответствии с - «Патент РФ 2767005. Высокотемпературная химическая ячейка/ Чернов Е.И., Чернов М.Е., Сысоев Ю.М. / Заявл. 09.07.2021 / Оpubл. 16.03.2022»;
- в составе газоанализатора разработан цифровой вторичный преобразователь и программное обеспечение для управления и калибровки;
- достигнут улучшенные рабочие характеристики;
- получен положительный результат опытно-промышленной эксплуатации;
- планируется сертификация и запуск в производство.



**научно-
производственное
предприятие**



Спасибо за внимание!

Калужская обл., г. Обнинск, ул. Лесная, д. 9,

тел./факс (484) 396-62-66

e-mail: ekon@econobninsk.ru; www.econobninsk.ru

Сообщество в VK: <https://vk.com/club201766765>