

LeakLab AGP:

Система индикации вакуума

Цифровой контроль
межстенного пространства
криогенных сосудов.

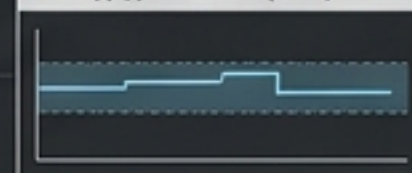
LEAKLAB | REF: AGP-01 | ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ

ТЕКУЩИЙ ВАКУУМ [mbar]

ДАННЫЕ: 5.2E-5

СОСТОЯНИЕ: В НОРМЕ

ТРЕНД ДАВЛЕНИЯ (24ч)



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ (ТЕРМО)

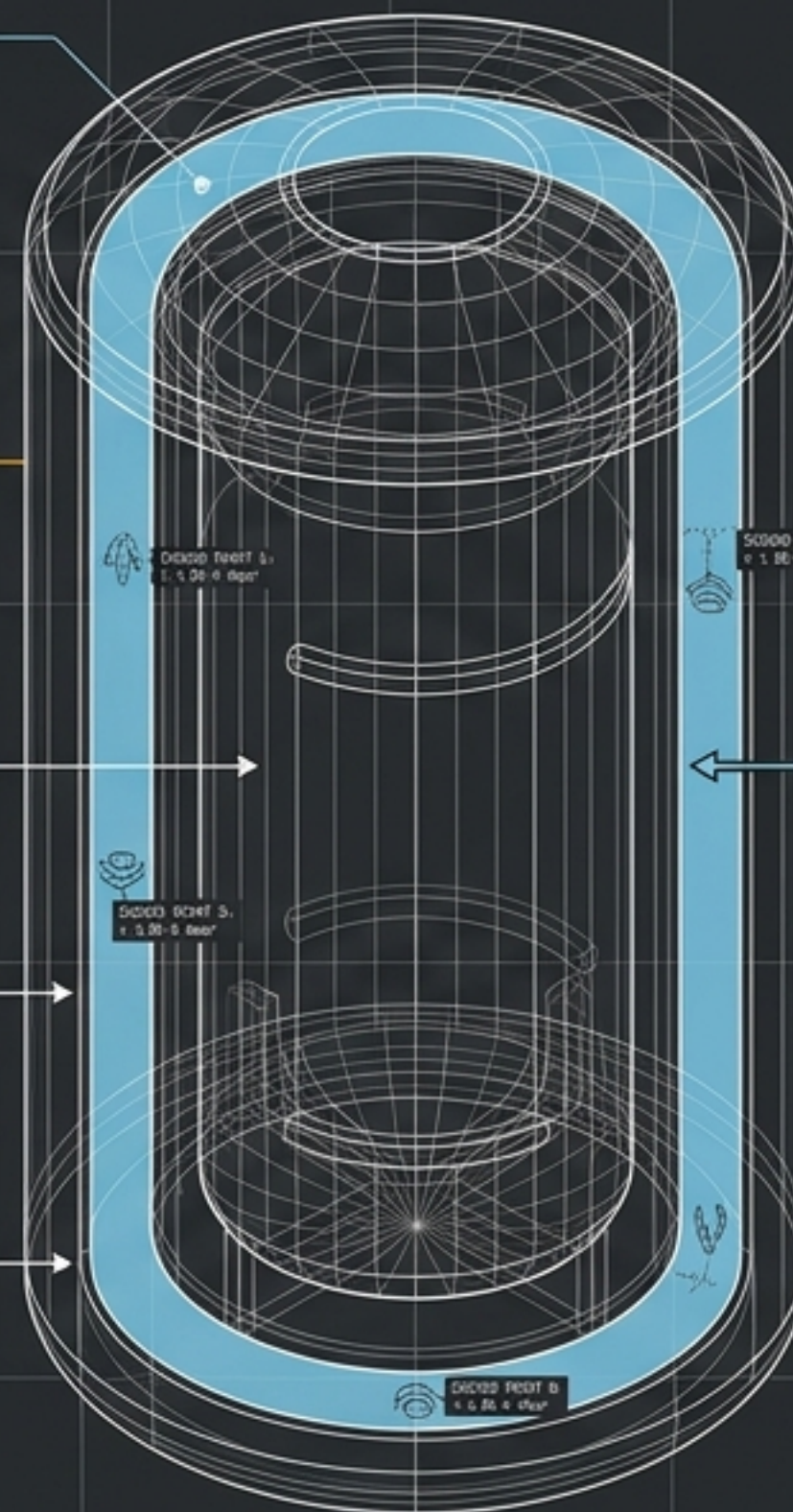
ОТСУТСТВУЕТ
PIRANI: OFF



ВНУТРЕННИЙ
СОСУД
(КРИОГЕН)

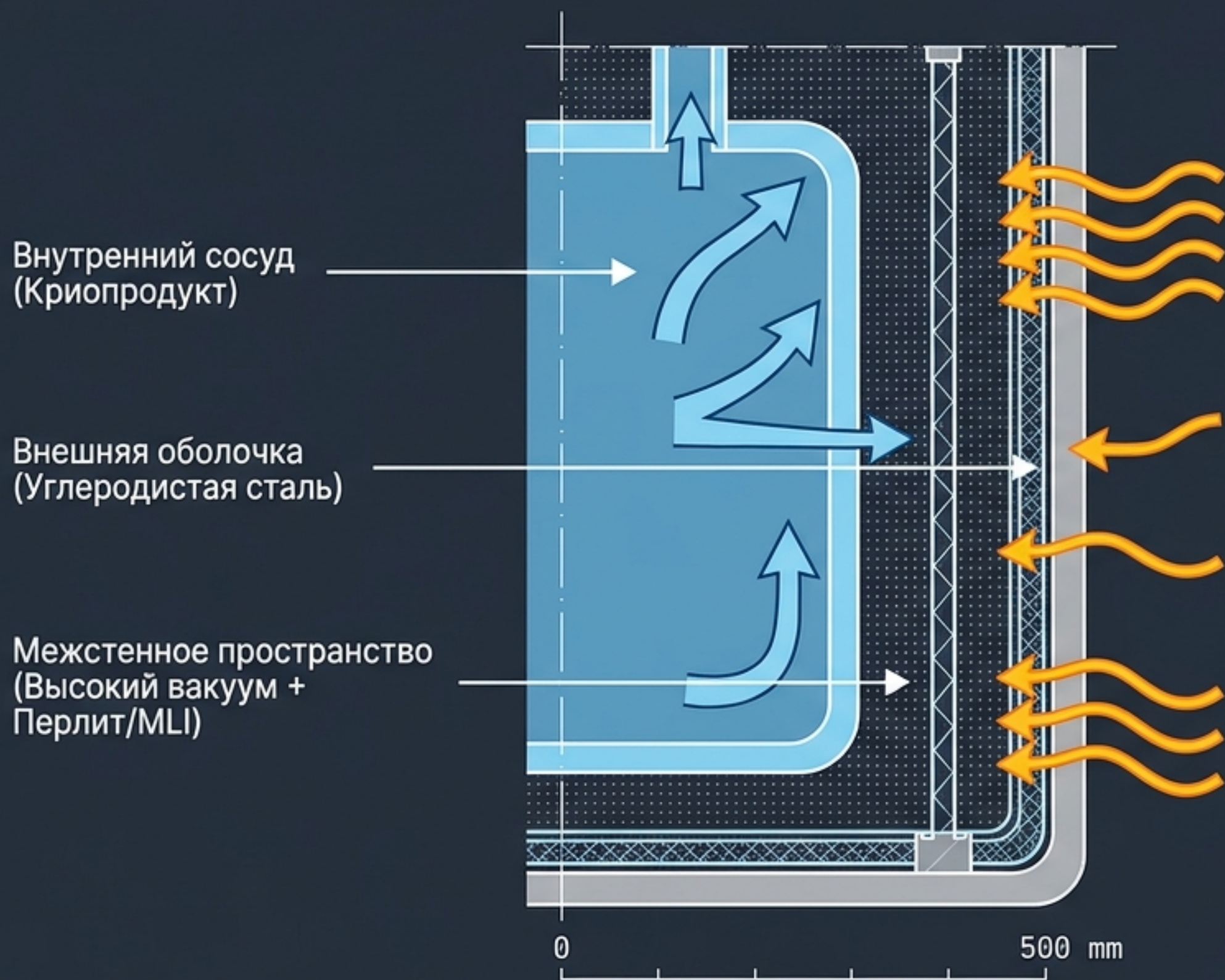
МЕЖСТЕННОЕ
ПРОСТРАНСТВО
(ВАКУУМ)

НАРУЖНАЯ
ОБОЛОЧКА



КОНТРОЛИРУ-
ЕМАЯ ЗОНА
(ВАКУУМ)

Физика криогенной изоляции: Зачем нужен вакуум?



Угроза

Проникновение тепла через стенки резервуара.

Тепловой поток $Q \text{ (W)} = k * A * (\Delta T / L)$

Следствие

Повышение температуры → Интенсивное выкипание (boil-off) → Рост давления → Сброс продукта через клапан.

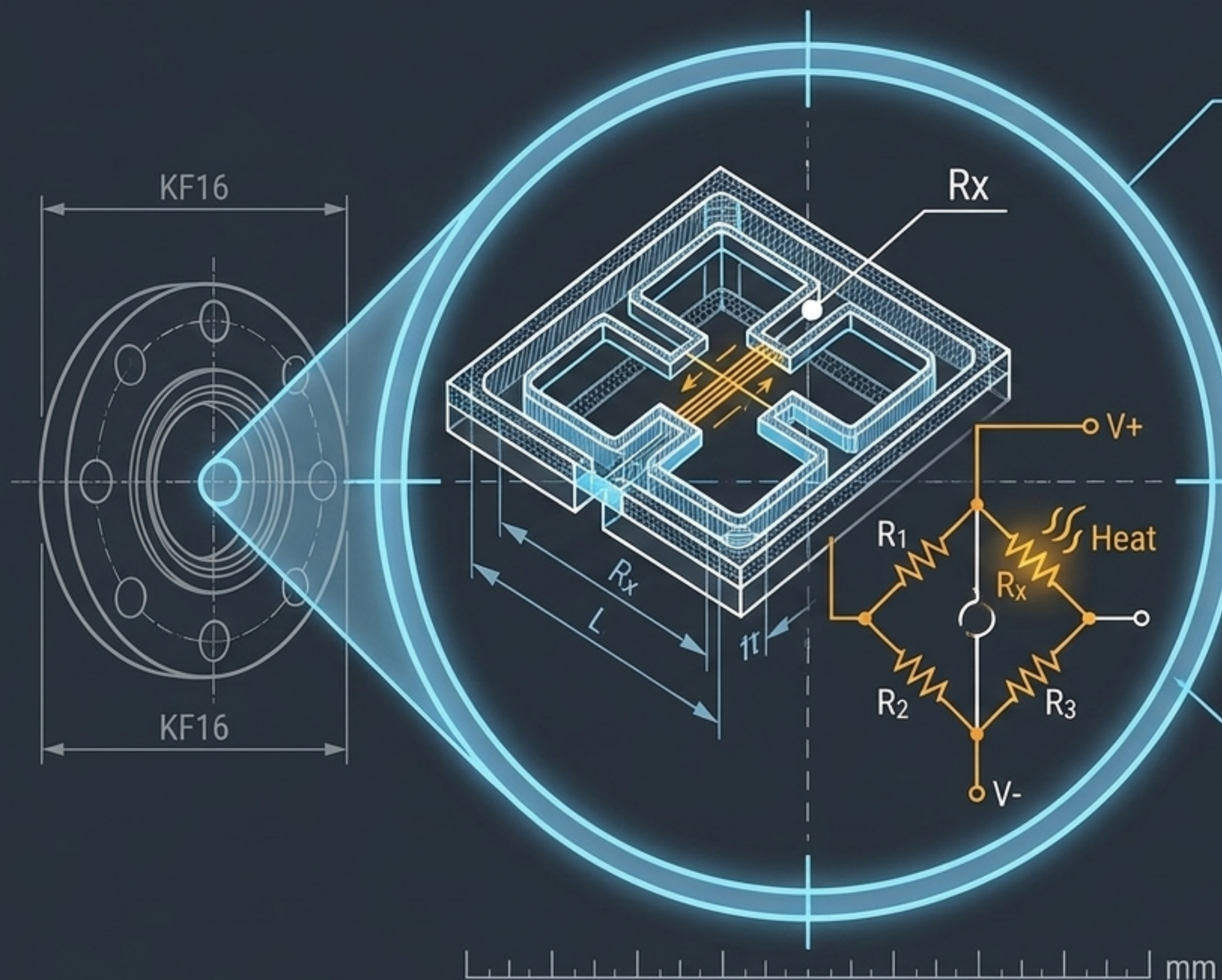
Испаряемость (BOR) возрастает с 0.05% до >2.0% в сутки.

Решение

Глубокий вакуум минимизирует конвективную теплопередачу. Непрерывный мониторинг вакуума с помощью LeakLab AGP предотвращает аварийные потери.

Рабочий вакуум: $< 0.1 \text{ Па (} 1e-3 \text{ мбар)}$

Ядро технологии: MEMS Pirani и Мост Уитстона



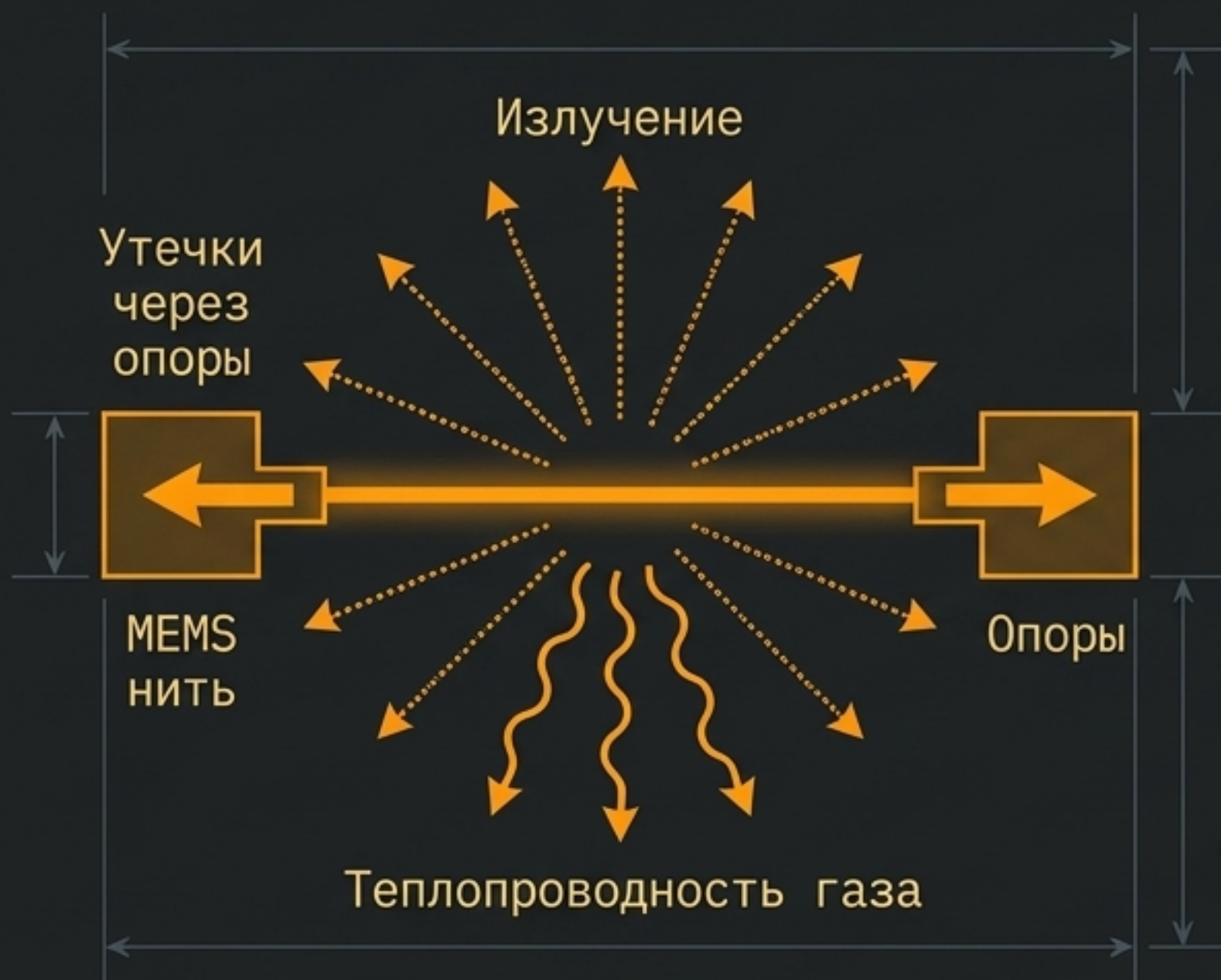
MEMS Сенсор

- **Нагреватель (Filament):** Микронить, выделяющая джоулево тепло.
- **Отвод тепла:** Молекулы газа забирают тепло пропорционально давлению.

Схема измерения

- **Мост Уитстона:** Чувствительный резистор включен в плечо измерительного моста.
- **Балансировка:** Изменение давления → Изменение теплопередачи → Изменение температуры нити → Изменение сопротивления.

Векторы потери тепла: Ограничения метода



1. Излучение (Radiation)

Фоновая потеря тепла. Не зависит от давления.

2. Теплопроводность опор (Solid Conduction)

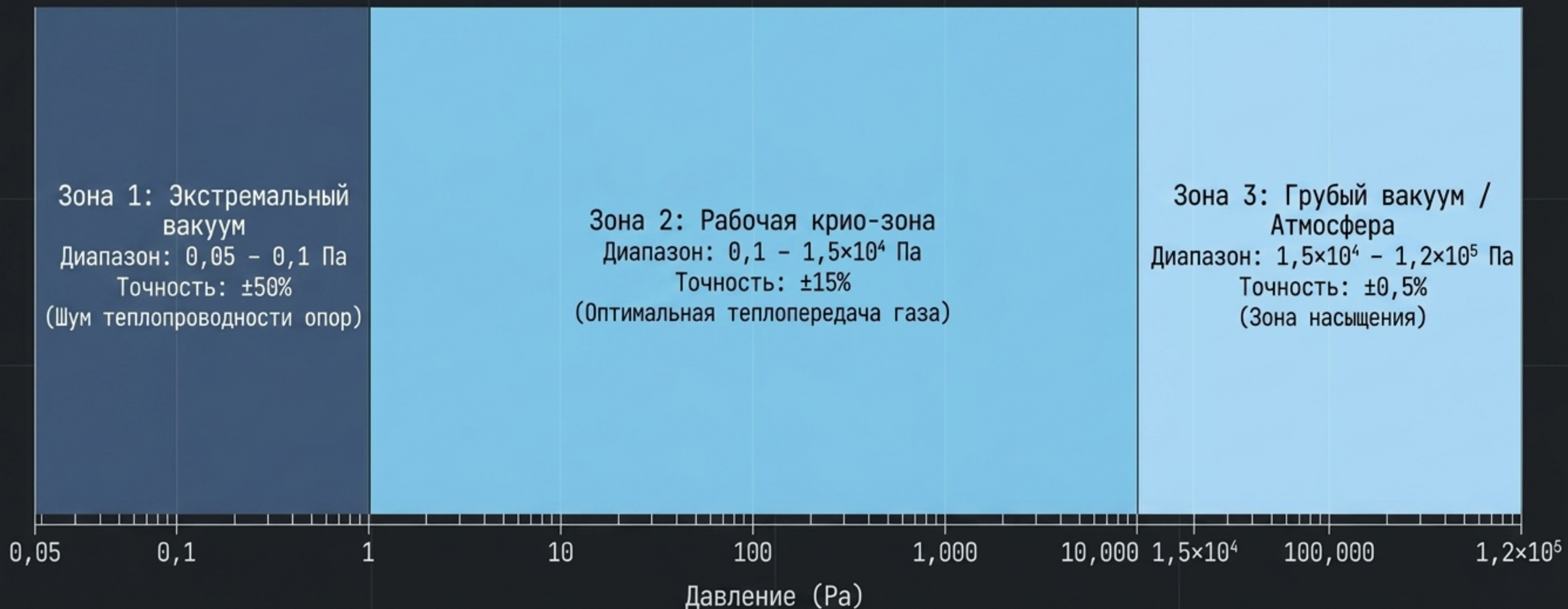
Утечка тепла через концы микронити в подложку. Доминирует при глубоком вакууме (<0.1 Па). Снижает чувствительность.

3. Теплопроводность газа (Gas Conduction)

Полезный сигнал. Прямо пропорциональна давлению в рабочей зоне. При высоком давлении (>10 кПа) выходит на плато (насыщение теплоемкости).

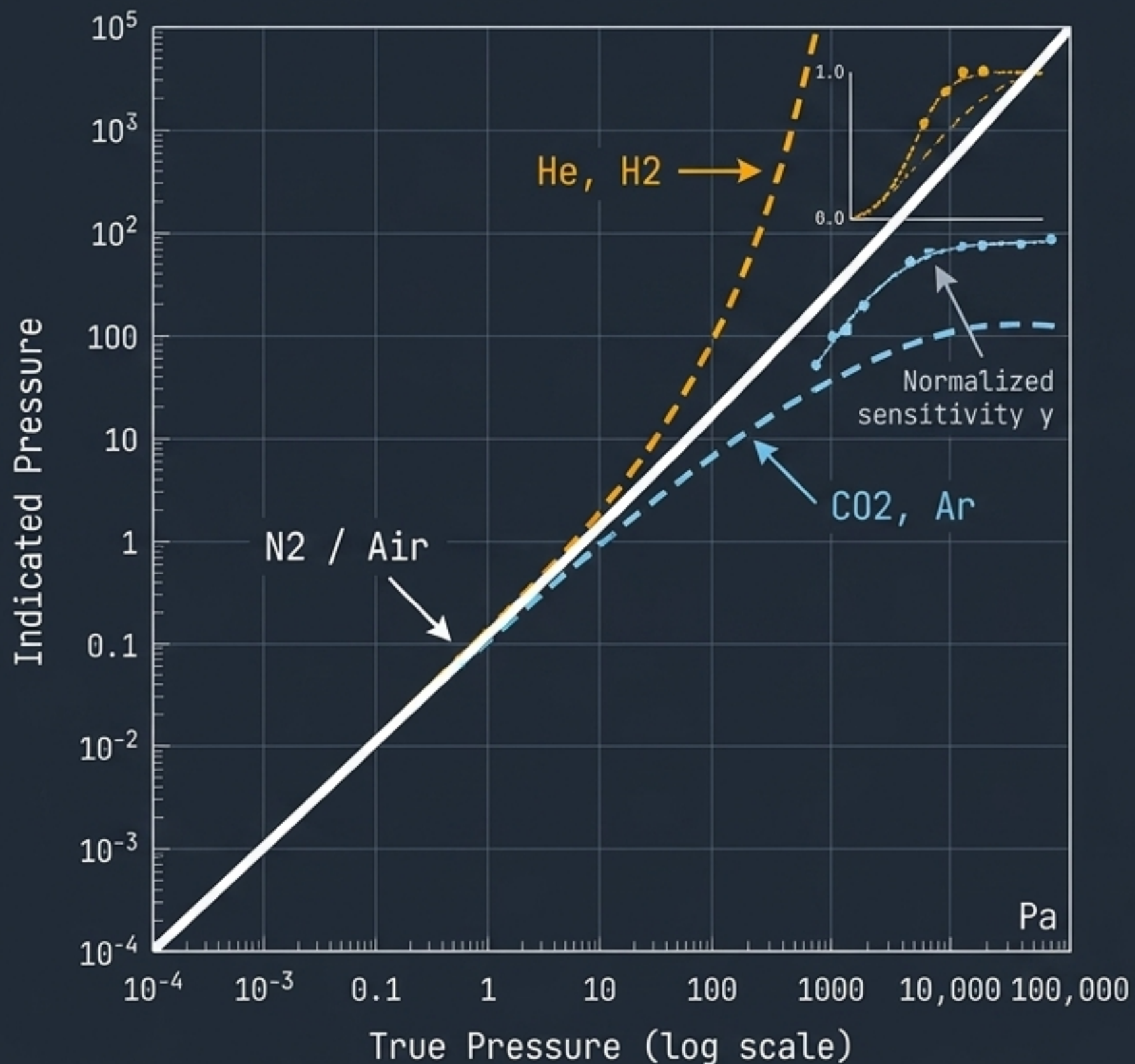
Вывод: Физика Pirani определяет неравномерную точность. Прибор идеален в центре, но имеет естественные пределы на краях диапазона.

Диапазон и 3 зоны точности



ВНИМАНИЕ: Давление разрушения (Max Overpressure): 130 кПа. Повторяемость в Зонах 2-3: $\pm 2\%$.

Газозависимость: Критический фактор калибровки



ВНИМАНИЕ:

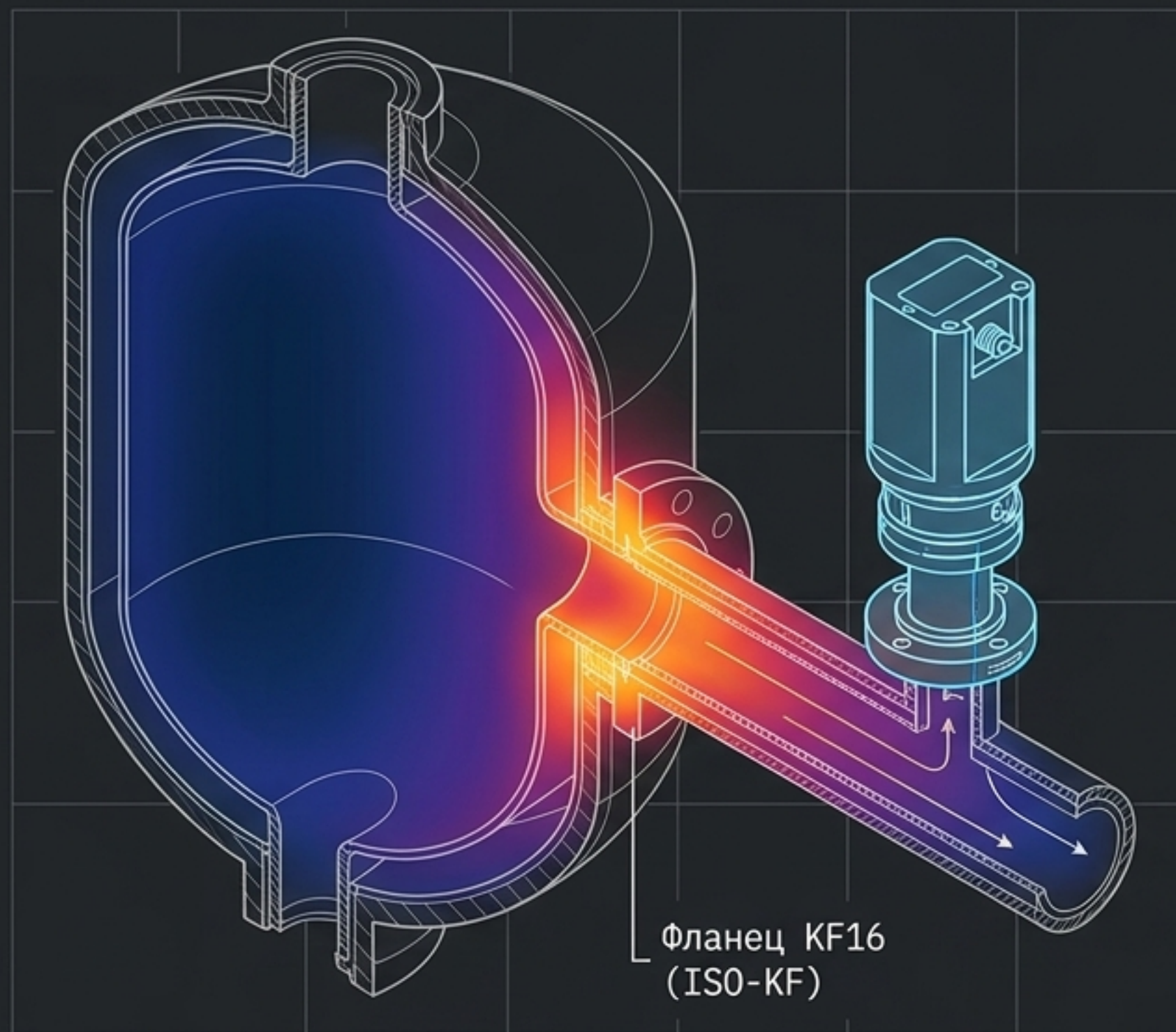
LeakLab AGP откалиброван по азоту (N₂) / сухому воздуху.

Теплопроводность разных газов физически отличается.

- Легкие газы (Гелий, Водород): Отводят тепло быстрее. Прибор завышает реальные показания давления.
- Тяжелые газы (CO₂, Аргон): Отводят тепло медленнее. Прибор занижает показания.

ПРАВИЛО: НЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ калибровку N₂ для других газов без пересчетных коэффициентов.

Механическая интеграция: Важность «теплой точки»



Правила монтажа

1. Локация

Устанавливать исключительно на сервисном порту вакуумной оболочки.

2. Тепловая развязка

Датчик должен находиться в **«теплой точке»** (0–40 °C). Измерение в зоне криогенных температур **критически искажает теплопередачу молекул газа и разрушает калибровку измерительного моста.**

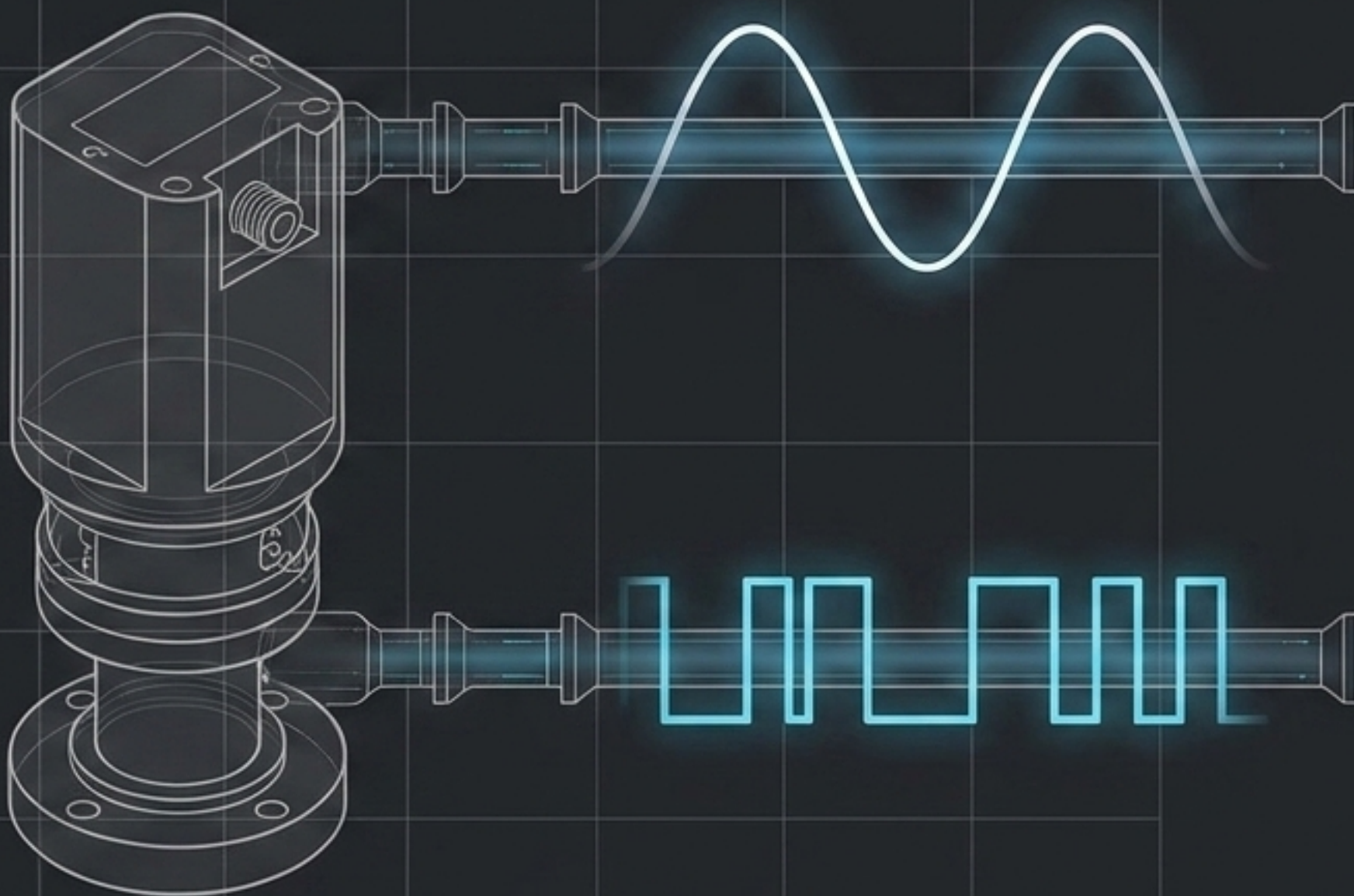
3. Ориентация

Вертикально фланцем вниз. Предотвращает скопление конденсата и механических частиц в измерительной камере.



Электрические и Информационные интерфейсы

Питание: 9–28 В DC | Потребление: <1,2 Вт



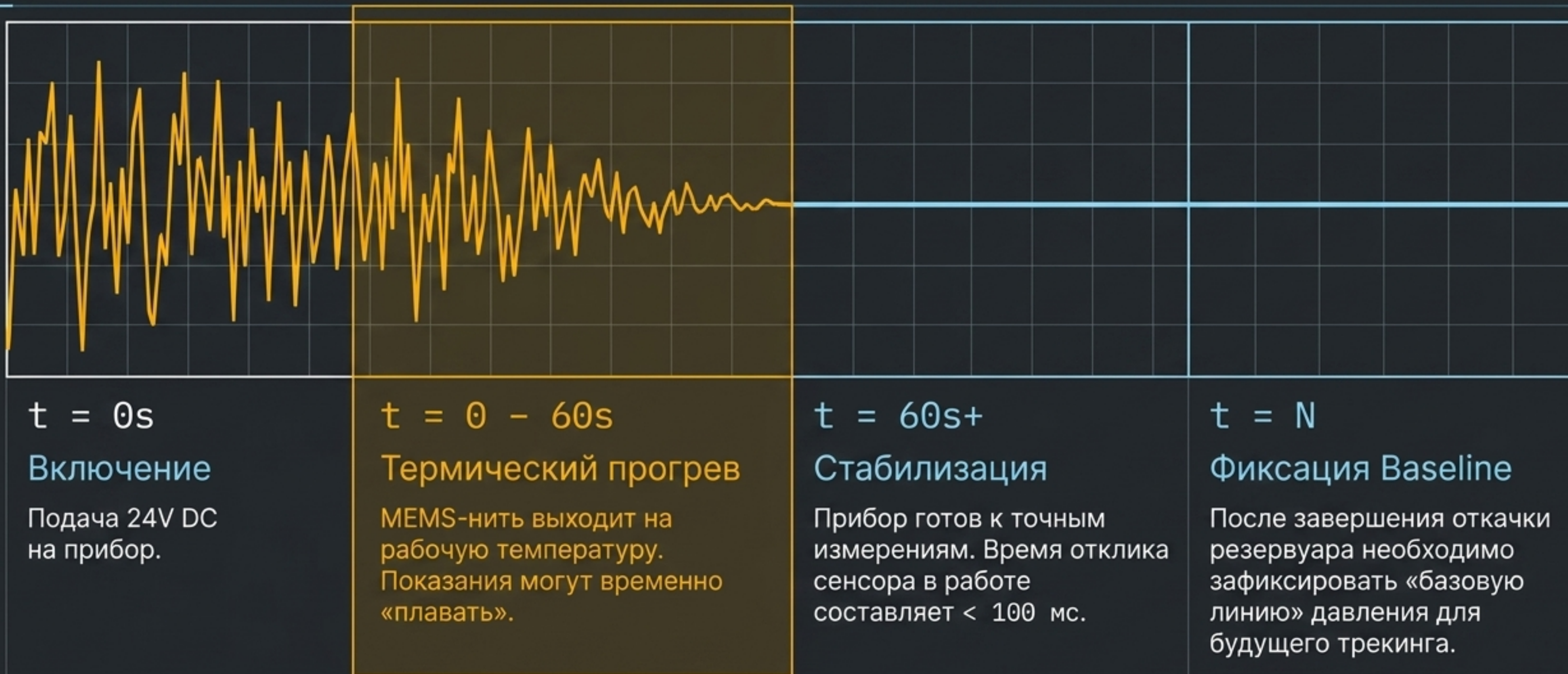
Аналоговый выход

- 0–10 В (логарифмическая шкала)
- Базовый интерфейс для старых ПЛК
- Простая индикация без программирования

Цифровой выход

- RS-485 (протокол Modbus RTU)
- Скорости: 4800, 9600, 19200, 115200 бод
- Единицы: Pa, Torr, mbar
- Преимущества: полная цифровая интеграция, помехозащищенность, удаленная диагностика

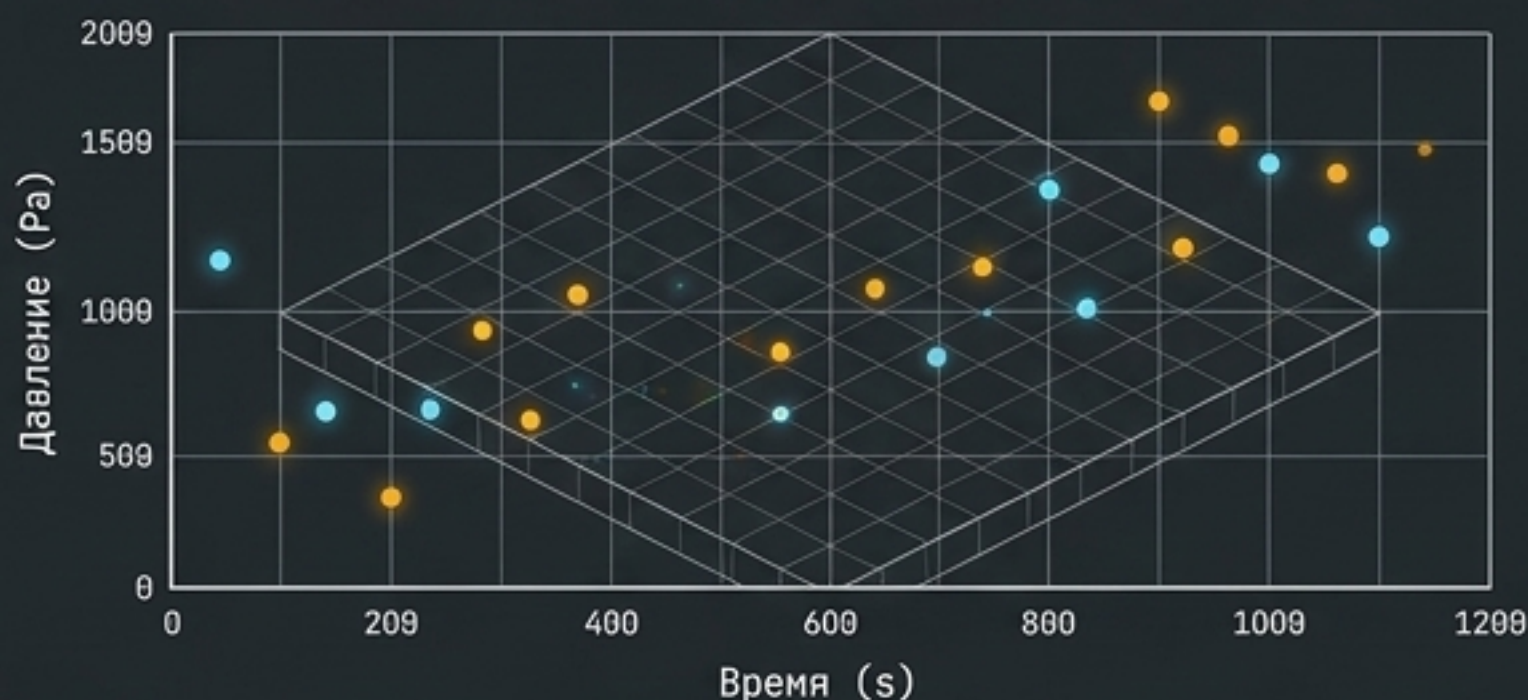
Ввод в эксплуатацию (Commissioning)



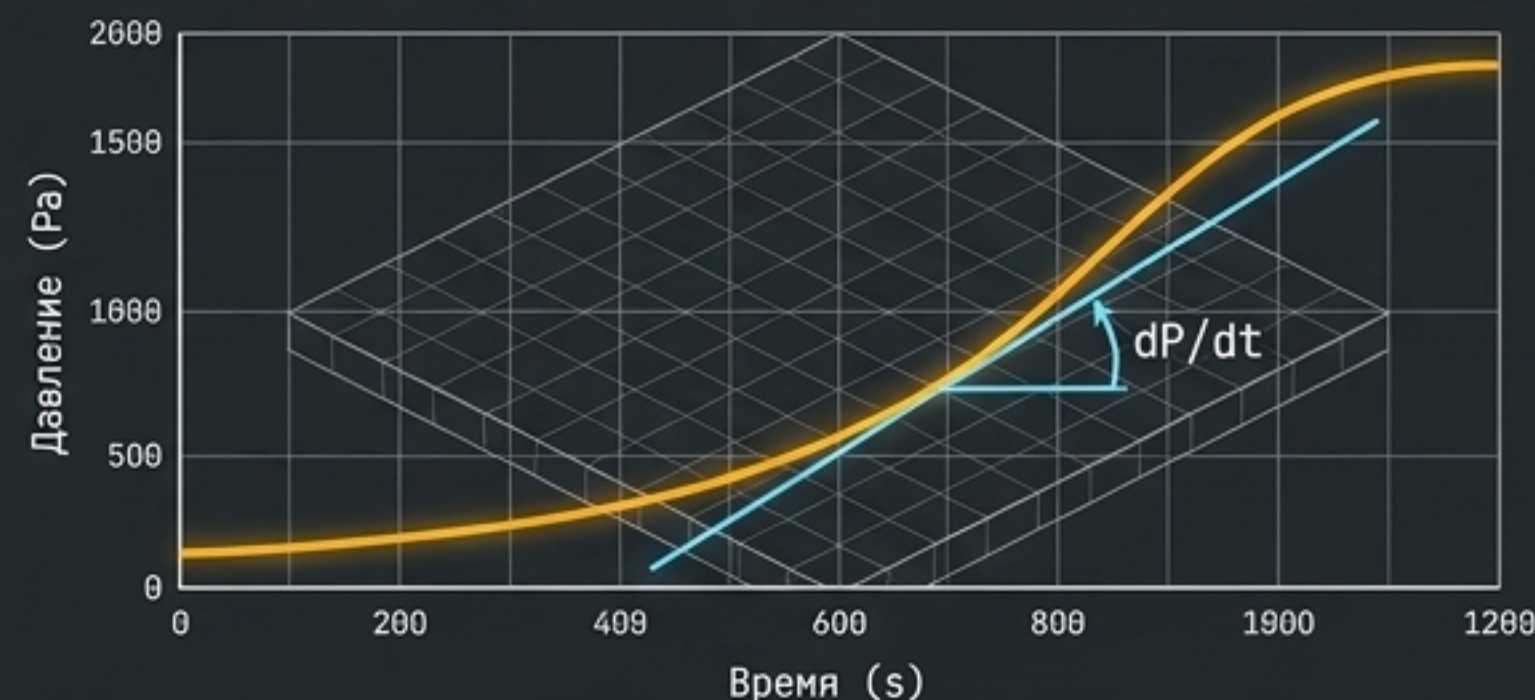
Мониторинг временных трендов: Ключевая ценность

В криогенике абсолютное значение давления менее важно, чем его **ДИНАМИКА ВО ВРЕМЕНИ**.

Статичные данные (Малоинформативно)



Аналитика трендов (Предиктивный контроль)



Аппаратные преимущества

- **Скорость:** Время отклика < 100 мс позволяет мгновенно видеть реакцию на термические циклы.
- **Повторяемость:** Точность $\pm 2\%$ гарантирует, что изменение показаний — это реальный физический процесс, а не дрейф сенсора.

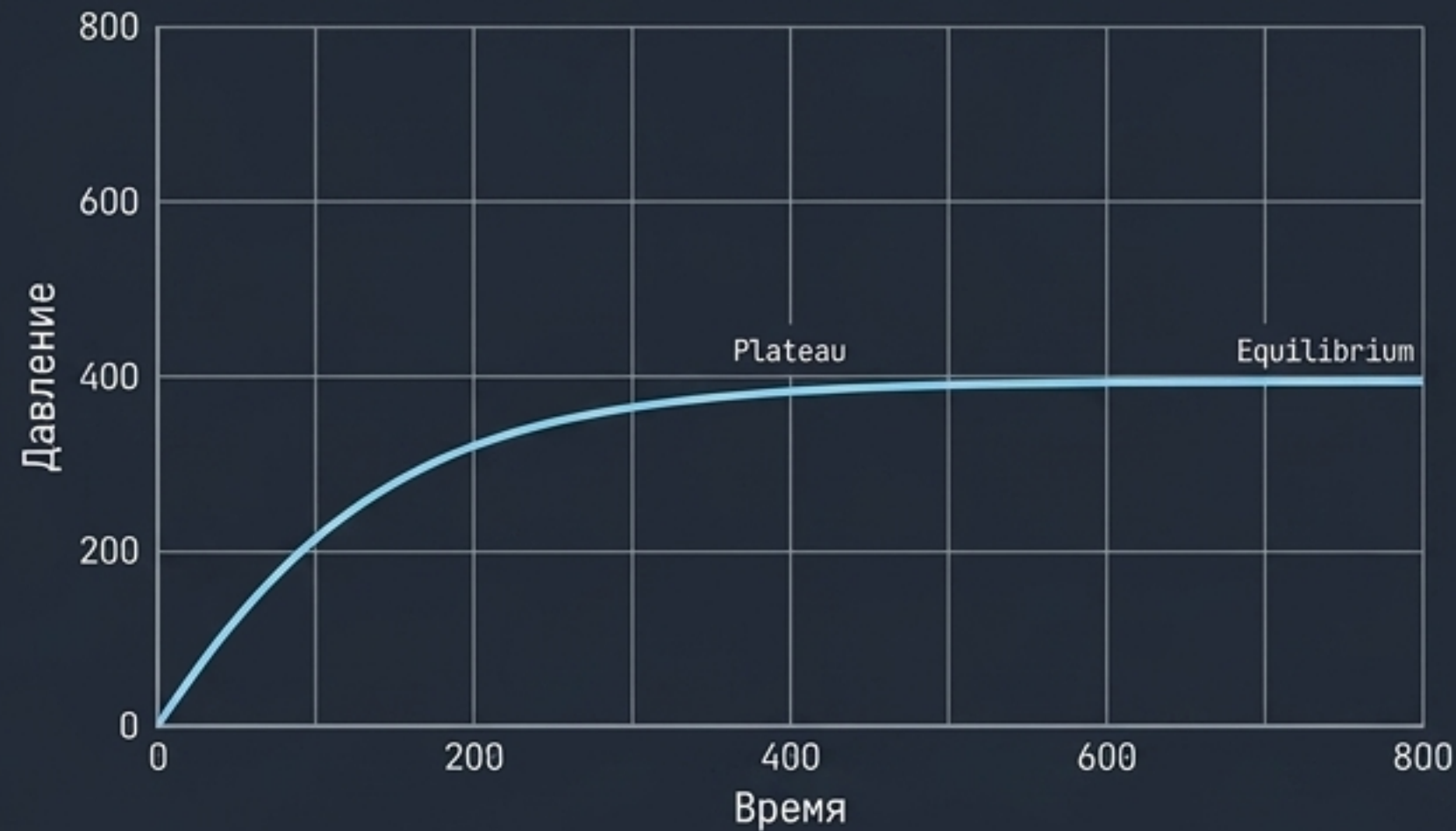
Призыв к действию

Предиктивная аналитика:

Настройте ваш ПЛК на отслеживание скорости роста давления (Trend Rate), а не только жестких пороговых значений аварии.

Диагностическая матрица: Утечка vs. Газовыделение

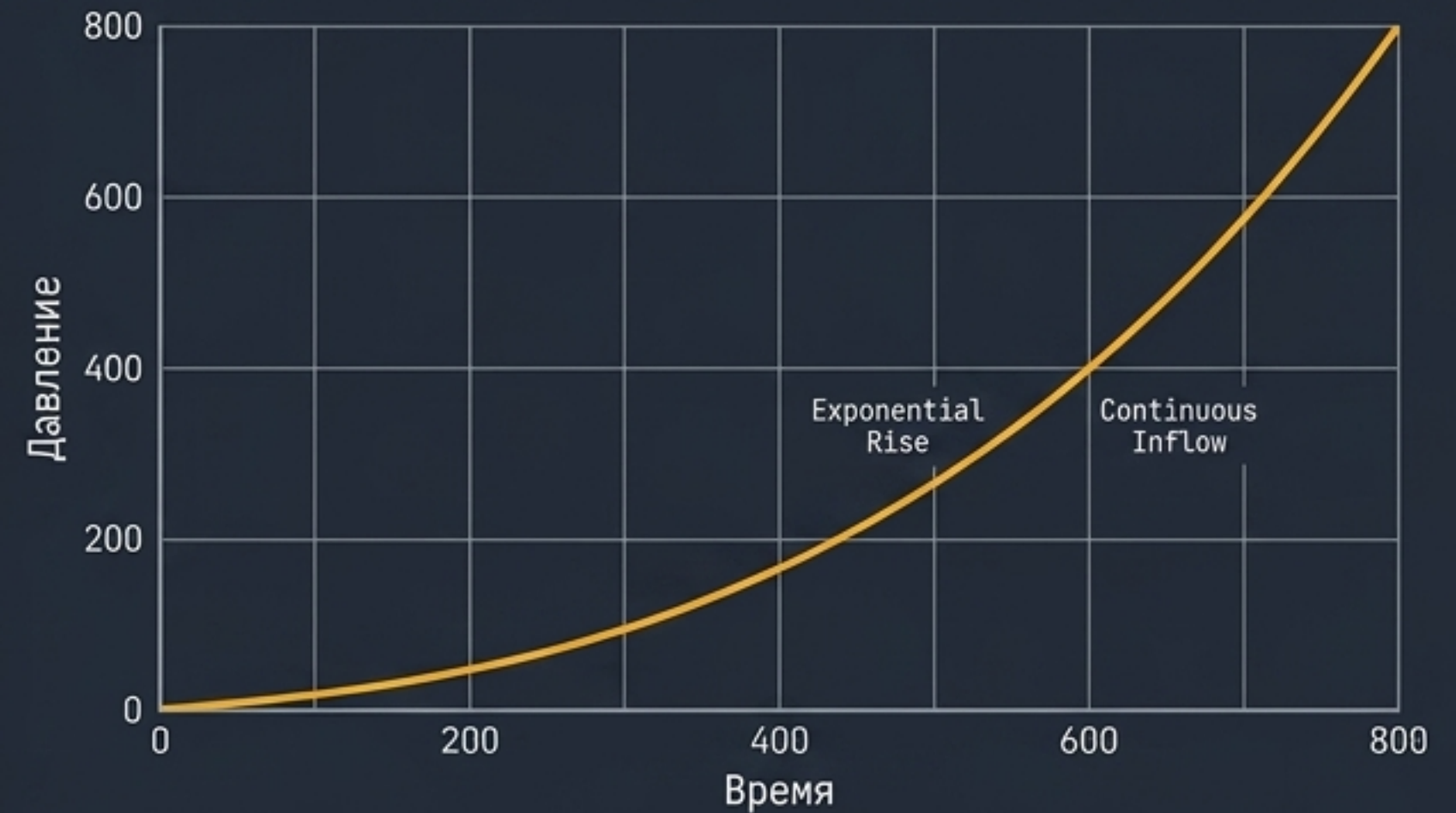
Газовыделение / Десорбция



Физика: Десорбция молекул со стенок резервуара или изоляции MLI. Рост давления прекращается при достижении термодинамического равновесия.

Действие: Нормальный процесс старения вакуума. Внесите в план ТО переоткачку резервуара.

Реальная утечка / Течь



Физика: Физическое нарушение целостности оболочки. Постоянный приток молекул атмосферного воздуха извне.

Действие: **КРИТИЧЕСКИЙ ДЕФЕКТ**. Требуется немедленная локализация течи (с помощью гелиевого течеискателя) и ремонт сосуда.

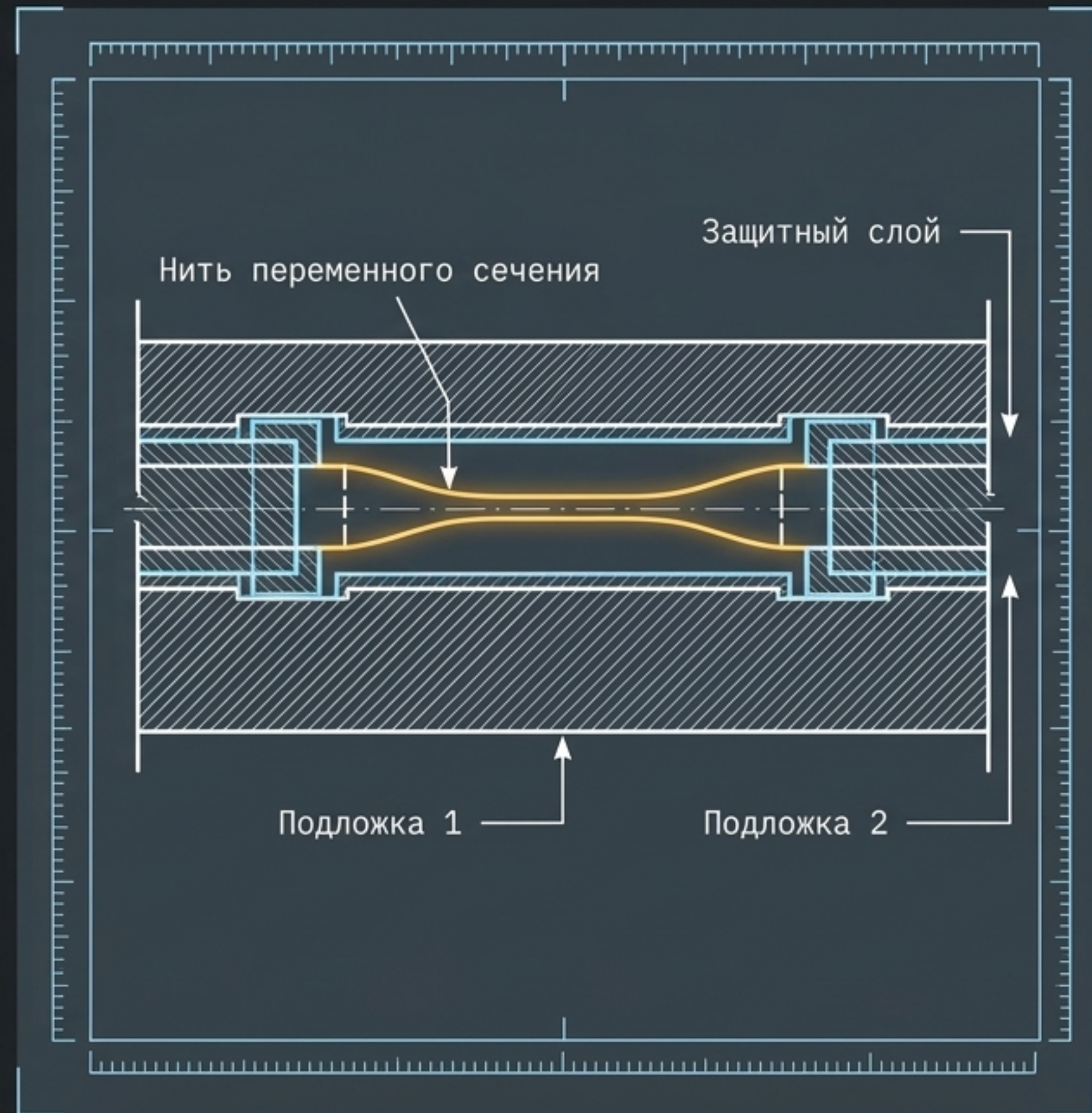
Патентный фон и Механическая надежность

Научный базис:

Технология базируется на передовых принципах микроструктурирования кремния (референсы: US7296478B2, CN113324697A).

Инженерные инновации:

- **Градиент ширины нити:** Изменение геометрии нити от центра к краям радикально снижает термическое напряжение (thermal stress), повышая срок службы.
- **Ударопрочность:** Микромасштаб MEMS делает чувствительный элемент невосприимчивым к сильным механическим вибрациям при логистике и транспортировке криоцилиндров.
- **Пассивирующий слой:** Химическая защита нити предотвращает окисление и деградацию датчика в агрессивных промышленных средах.



Критические ограничения: Роль в архитектуре безопасности

ПРАВИЛО:

LeakLab AGP — это высокоточный индикатор, а не единственный элемент защиты.

Данные давления (AGP)



Аналитика и Мониторинг ✓

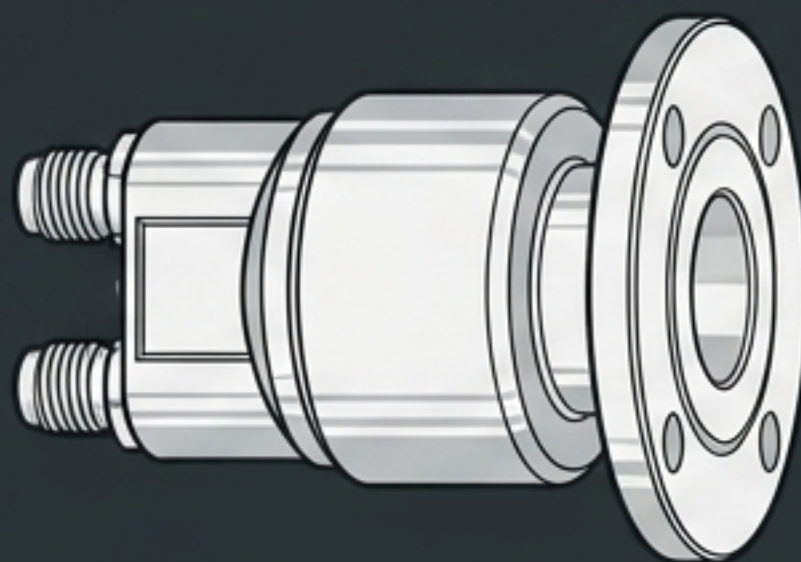
- ✓ Глаза системы.
- ✓ Предиктивный мониторинг.
- ✓ Трекинг деградации вакуума.
- ✓ Планирование технического обслуживания.

ПАЗ (Противоаварийная защита) ✗

- ✗ Рефлексы системы.
- ✗ **НЕДОПУСТИМО** использовать только AGP для аварийной блокировки.
- ✗ Требуется независимая, аппаратно-резервированная электромеханическая защита.

Спецификация (Cheat Sheet)

Измерительная система	MEMS Pirani (Мост Уитстона)
Диапазон (N2/Сухой воздух)	0,05 Па – 120 кПа
Макс. давление перегрузки	130 кПа
Время отклика в работе	< 100 мс
Время первоначального прогрева	~ 60 сек.
Температура эксплуатации	0...40 °C (Теплая точка)
Цифровой интерфейс	RS-485 (Modbus RTU)
Аналоговый интерфейс	0-10 В DC (Логарифмический)
Единицы измерения (Modbus)	Pa, Torr, mbar
Питание и энергопотребление	9-28 В DC, < 1,2 Вт
Механическое присоединение	KF16



Полный цифровой контроль над ресурсом

Грамотная интерпретация данных LeakLab AGP превращает вакуумную изоляцию из «черного ящика» в управляемый, предсказуемый актив.