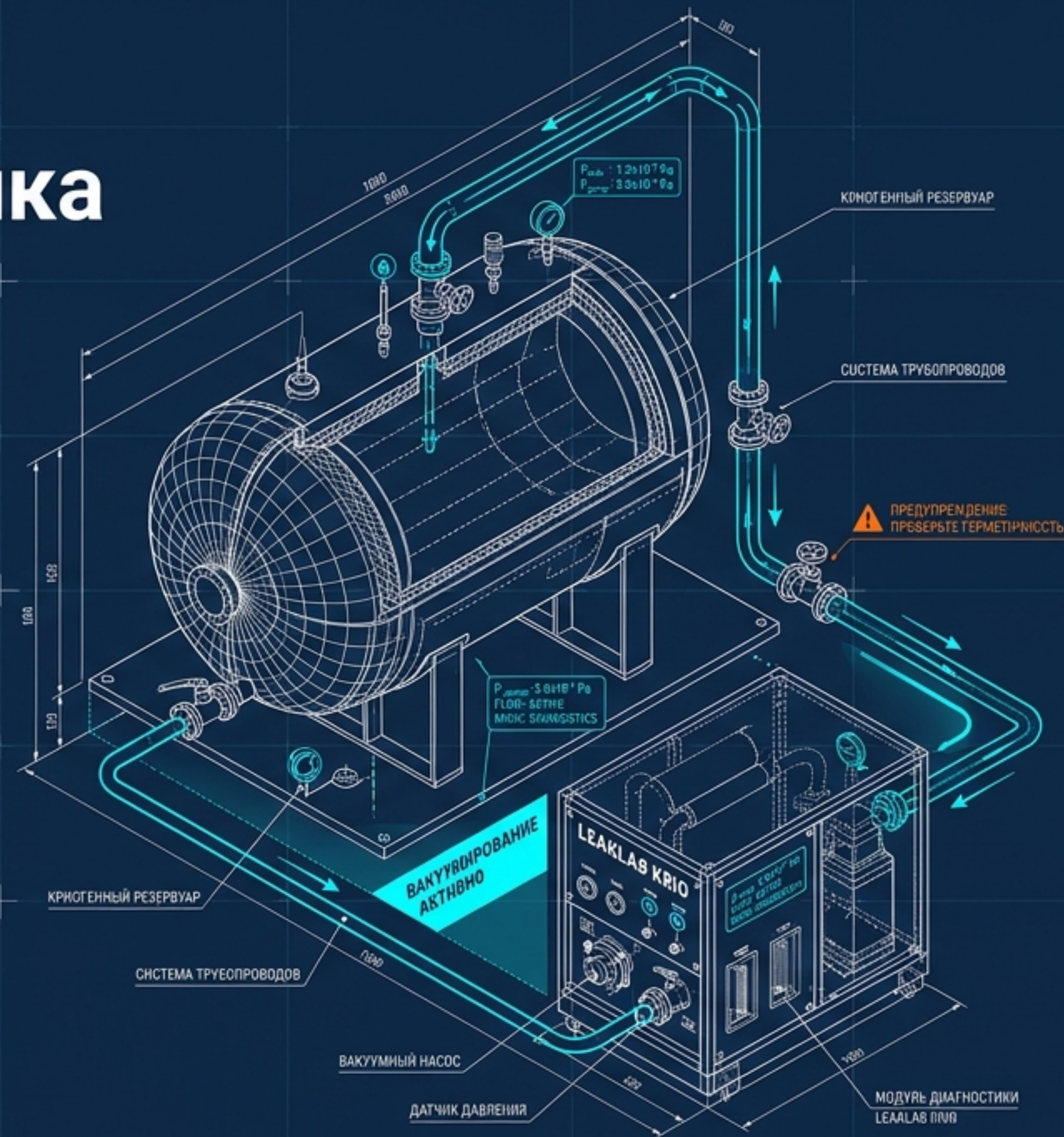


Ликлаб Крио: Комплексная диагностика и вакуумирование

Автоматизированная система
контроля герметичности криогенных
резервуаров и мобильных цистерн.



Давление: от 1×10^5 до 1×10^{-5} Па |
Измерительный комплекс: Пирани-Пеннинг

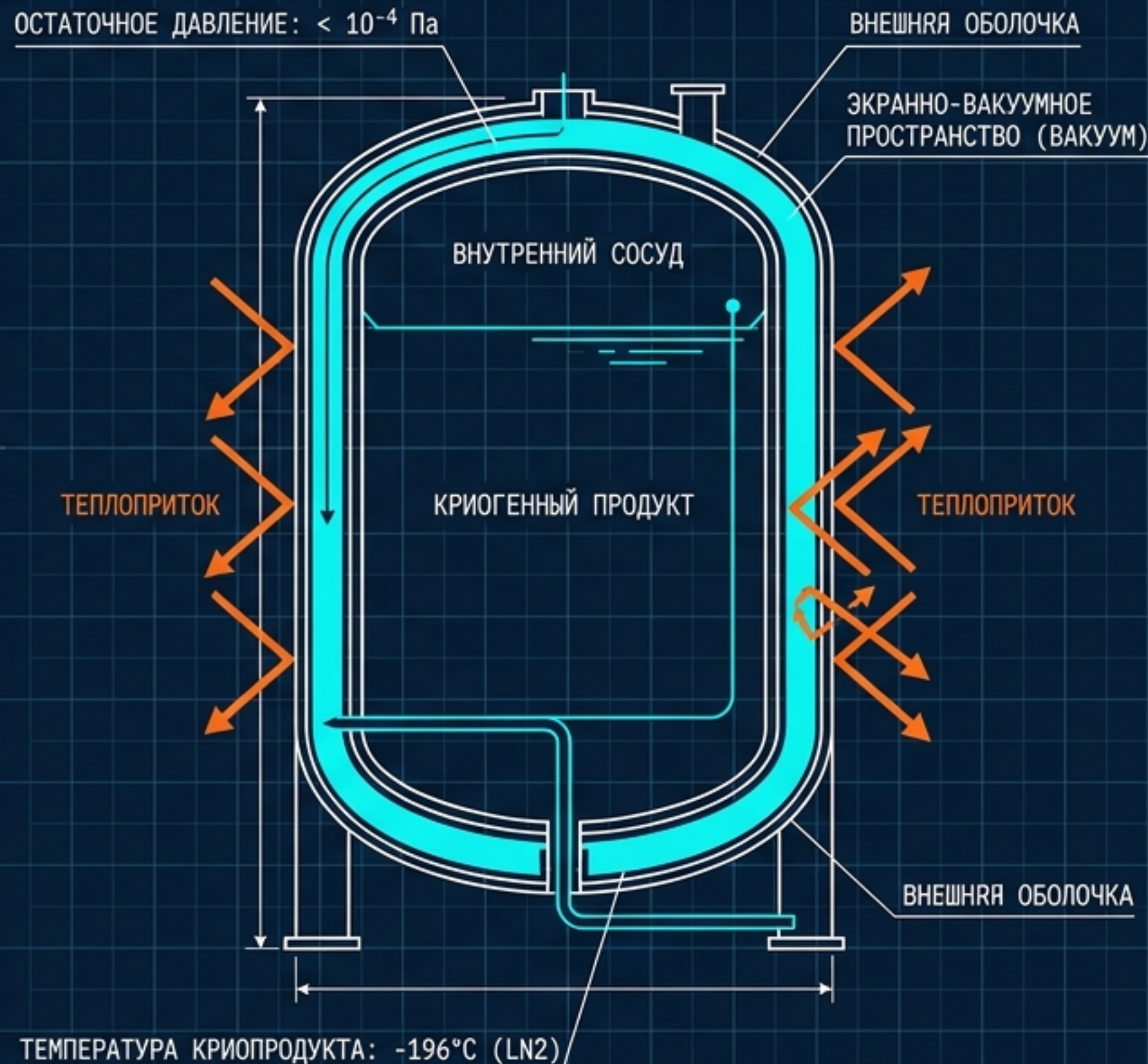
Поддержание экранно-вакуумной изоляции криогенных резервуаров

ВАКУУМНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ: ПРИНЦИПЫ И ПРОБЛЕМЫ

Вакуумная изоляция работает эффективно только при экстремально низком остаточном давлении.

Деградация вакуума в межстенном пространстве ведет к росту теплопритока к внутреннему сосуду, увеличению испарения криогенного продукта и повышению нагрузки на предохранительную арматуру.

Контроль и восстановление вакуума — это обязательная часть технического обслуживания, требующая прецизионного оборудования.



Достижение целевого давления не гарантирует качества теплоизоляции

Фиксация низкого давления доказывает лишь работоспособность насосной системы. Одинаковое ухудшение вакуума может быть вызвано принципиально разными физическими процессами.

Статическое измерение



НАСОС ВКЛЮЧЕН
(АКТИВНАЯ ОТКАЧКА)

Динамический контроль

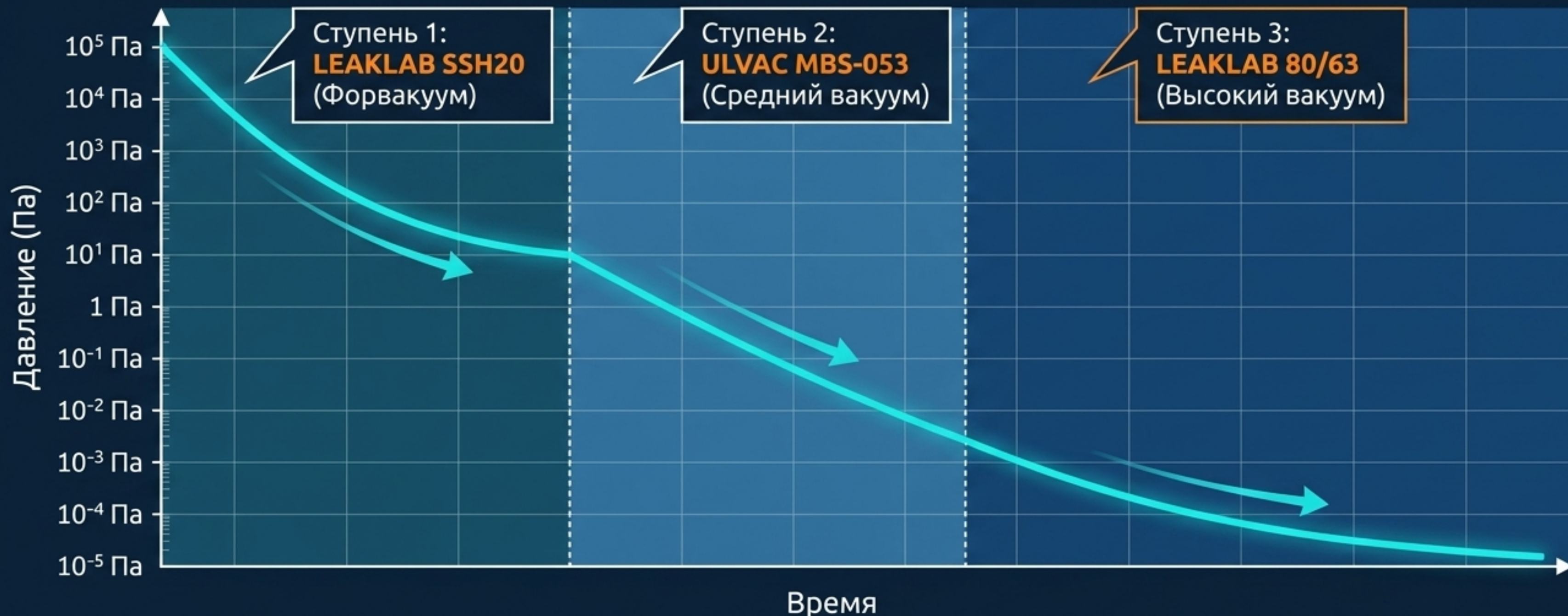


НАСОС ОТКЛЮЧЕН
(ИЗОЛЯЦИЯ)

Истинная оценка состояния резервуара требует анализа динамики давления (натекания) строго после отсечения откачного поста.

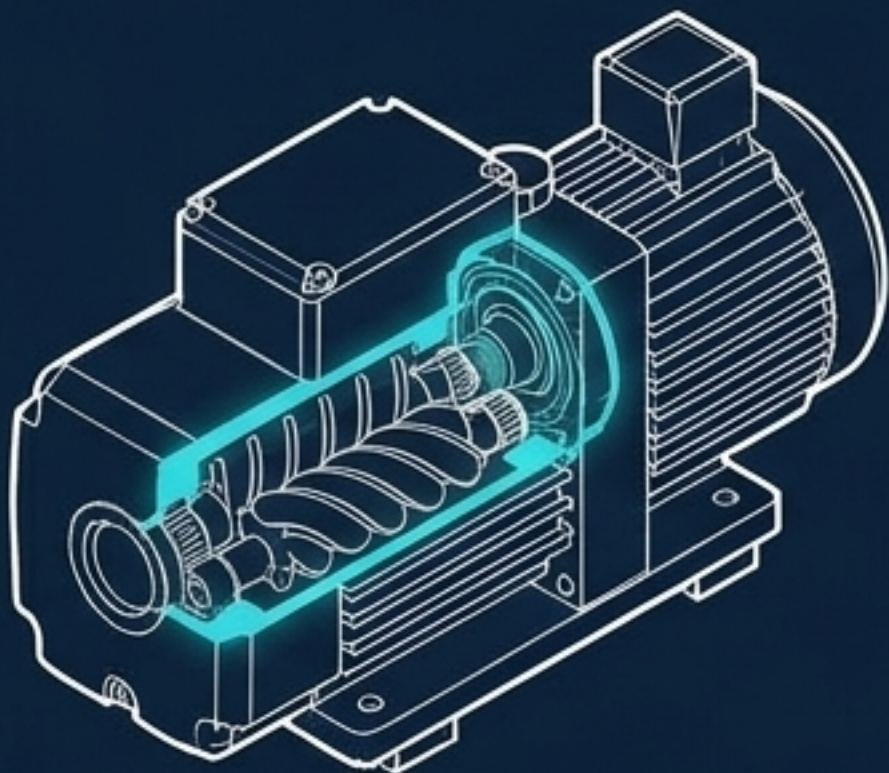
Трёхступенчатая архитектура: от атмосферы до глубокого вакуума

Ликлаб Крио объединяет три ступени откачки. Переход между режимами осуществляется автоматически на основе показаний широкодиапазонного вакуумметра Пирани-Пеннинга, а не по таймеру.



Ступени 1 и 2: Первичная откачка и бустерное ускорение

Ступень 1 - Форвакуумная



Сухой винтовой насос **LEAKLAB SSH20**

Рабочая быстрота: **16 м³/ч**

Предел: **до 1 Па**

Роль: Удаляет основную массу воздуха и паров. Сухая технология исключает риск масляного загрязнения межстенного пространства.

Ступень 2 - Бустерная



Механический насос Рутса **ULVAC MBS-053**

Рабочая быстрота: **до 50 м³/ч**

Роль: Включается автоматически при достижении ~500 Па. Резко увеличивает скорость откачки на наиболее длительном участке (в среднем вакууме), где форвакуумный насос теряет эффективность.

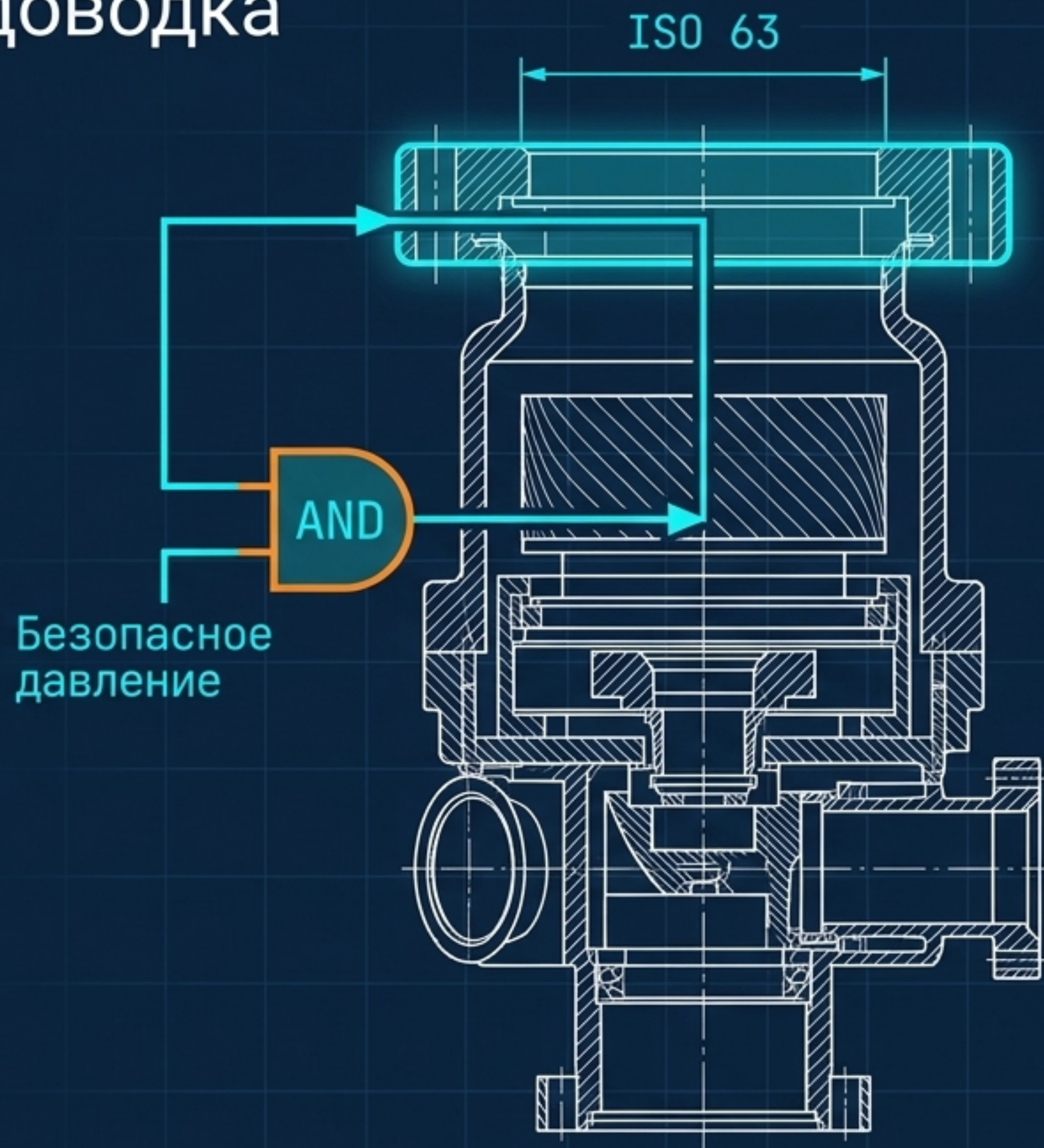
Ступень 3: Высоковакуумная доводка

Для восстановления теплоизоляционных свойств экранно-вакуумной изоляции требуется перевод системы в режим высокого вакуума.

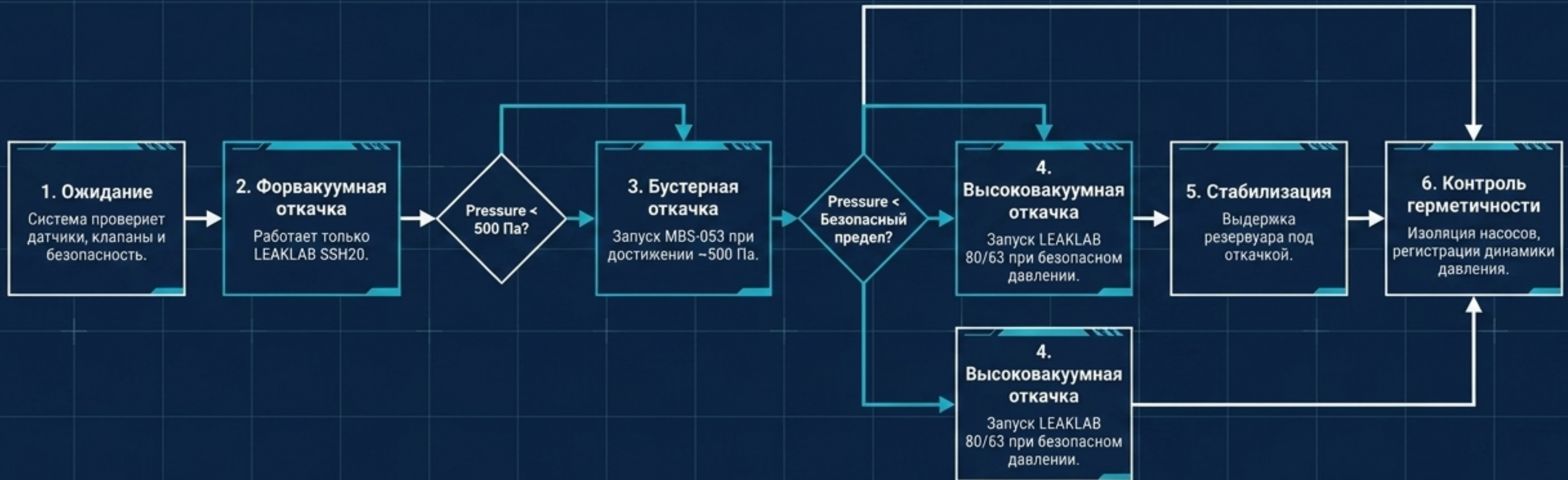
Насос:	Турбомолекулярный LEAKLAB 80/63
Быстрота откачки:	80 л/с (по азоту)
Интерфейс:	Входной вакуумный порт ISO 63



Высоковакуумная ступень активируется контроллером исключительно после снижения давления до безопасного диапазона.

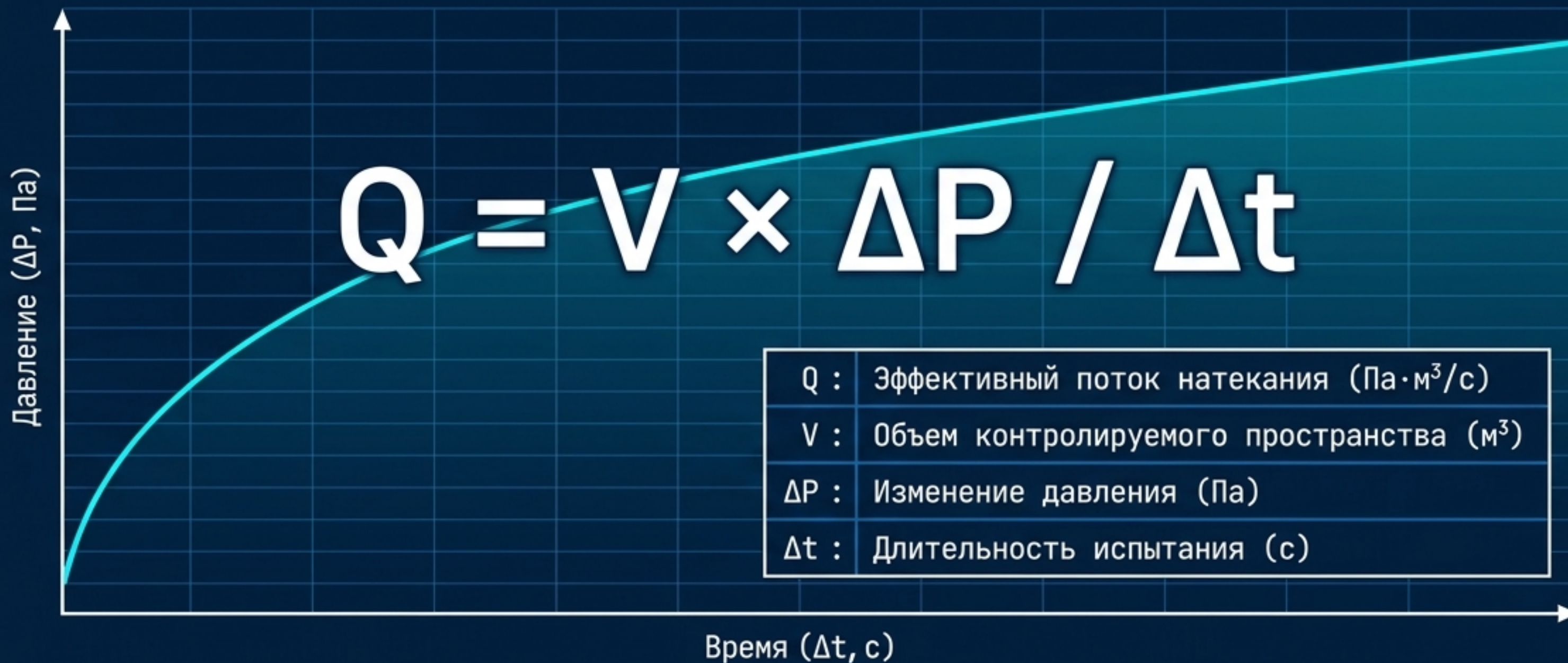


Логика САУ: Автоматизированная последовательность режимов

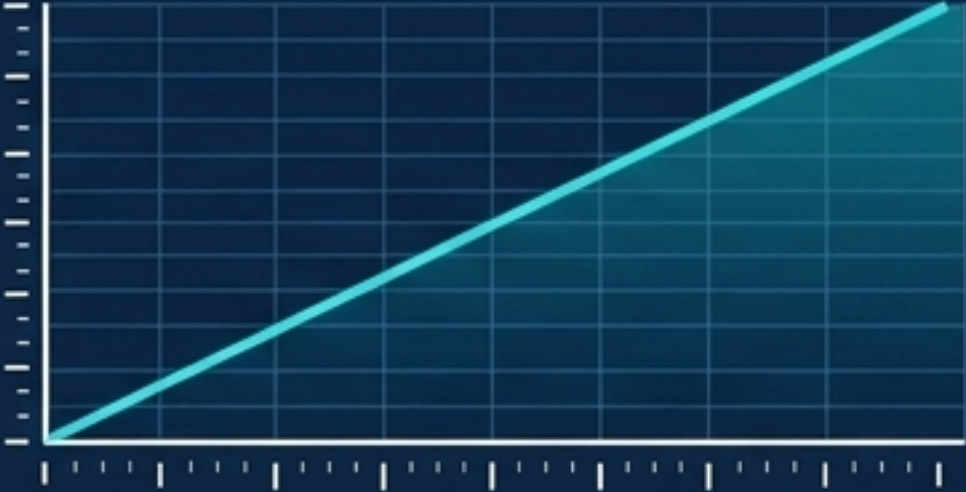
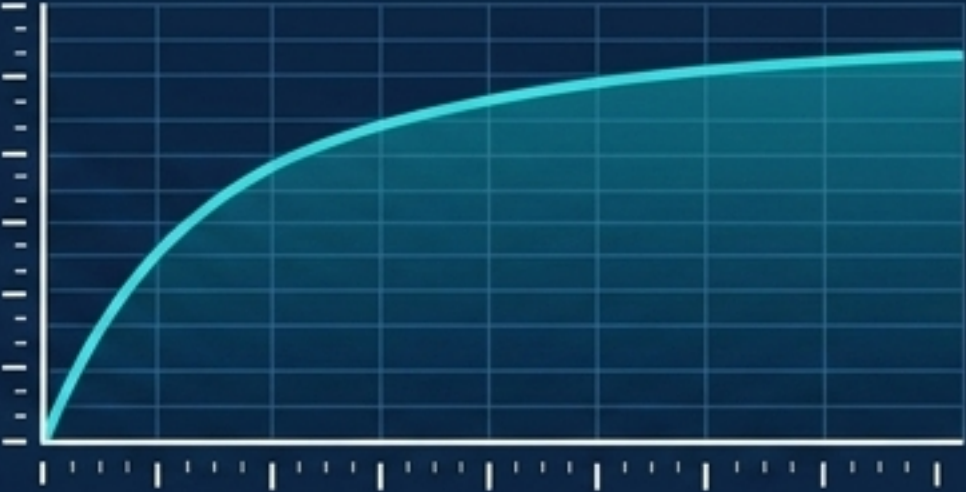
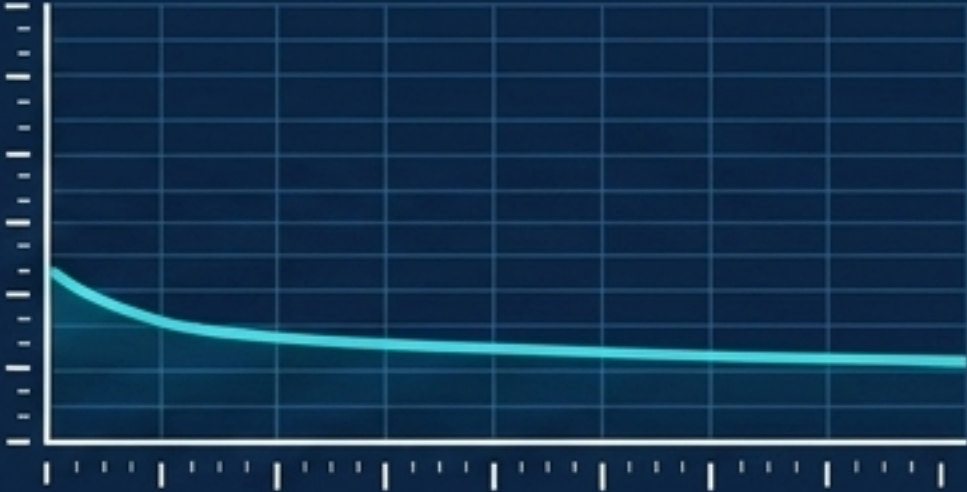


Физика диагностики: Опция Ликлаб ВакуумТест

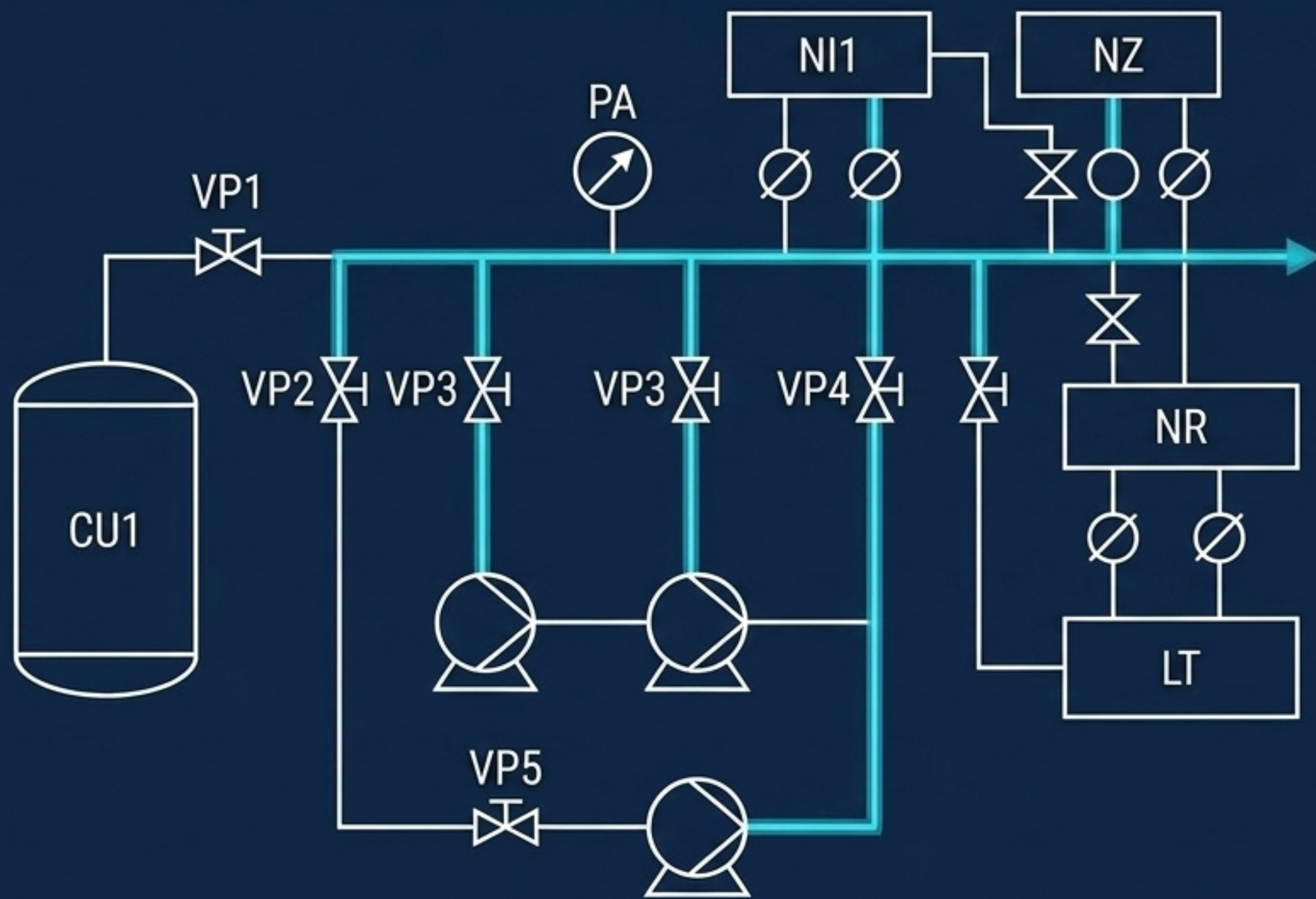
Оценка герметичности выполняется только после отсечения насосов от межстенного пространства. Прибор регистрирует изменение давления во времени и рассчитывает эффективный поток натекания.



Матрица диагностики: Определение физической причины

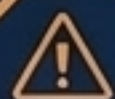
Сквозная течь	Дегазация поверхностей	Остаточная влага
		
Причина: Дефект сварного шва, негерметичность арматуры. Действие: Поиск локализации течи гелиевым методом.	Причина: Выделение газа со стенок и изоляции. Действие: Технологическая выдержка, сушка, прогрев.	Причина: Присутствие влаги в экранно-вакуумной изоляции. Действие: Продлить цикл откачки, оценить необходимость дополнительной сушки.

Вакуумная схема системы (P&ID)



CU1 :	Криогенный резервуар
VP1 :	Главный отсечной клапан
VP2, VP3, VP4 :	Клапаны форвакуумной, бустерной и высоковакуумной линий
VP5 :	Клапан напуска/продувки
NI1 :	LEAKLAB SSH20
NZ :	ULVAC MBS-053
NR :	LEAKLAB 80/63
PA :	Широкодиапазонный вакуумметр ($10^5 - 10^{-5}$ Па)
LT :	Модуль Ликлаб ВакуумТест

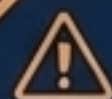
Аппаратная безопасность и защитные блокировки



Защита насосов



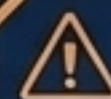
Блокировка запуска бустерного и турбомолекулярного насоса вне допустимого диапазона давлений. Остановка при перегрузке или перегреве (**Авария насосов**).



Контроль арматуры



Система останавливает цикл, если фактическое положение клапана (**обратная связь**) не соответствует программной команде (**Авария клапанов**).



Ручной сервисный режим



Изолированный режим для диагностики специалистами. Строго блокирует автоматический запуск. Защитные алгоритмы (**запрет включения высокого вакуума при высоком давлении**) сохраняются даже в ручном режиме.

Области применения и адаптация комплекса

Комплекс Ликлаб Крио адаптируется под объем межстенного пространства, требуемый диапазон давления и специфические вакуумные порты объекта.



Транспортные
мобильные
цистерны
с вакуумной
изоляцией.



Стационарные
резервуары для
жидкого азота,
кислорода, аргона.



Вакуумно-
изолированные
трубопроводы
и магистрали.



Сосуды Дьюара
и криогенные
контейнеры.



Межстенные
пространства
после ремонта или
перед гелиевым
течеисканием.

Регламент технического обслуживания



Перед каждым запуском

Осмотр вакуумного порта резервуара, очистка соединительных поверхностей. Проверка фланцев, уплотнений, заземления и отсутствия аварий (исключение ложного натекания).



После каждого цикла

Оценка графика давления, фиксация достигнутых результатов для технического отчета.



Периодические работы

Обслуживание насосов (LEAKLAB SSH20, MBS-053, 80/63) по наработке. Каждые 6 месяцев – инспекция силового шкафа управления, протяжка клемм, проверка цепей связи датчика давления.

Ликлаб Крио: Больше, чем вакуумирование

Это не просто насосная система. Это диагностический комплекс, который не только обеспечивает чистое и глубокое восстановление вакуума, но и дает точный ответ на вопрос о причинах его деградации.



Полностью
автоматизированная
смена 3 ступеней откачки.

$$Q = V \times \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

Математический
контроль динамики
удержания вакуума.

1.0×10^{-5} Па

Документируемые данные
для принятия решений
о сушке, ремонте
или эксплуатации.