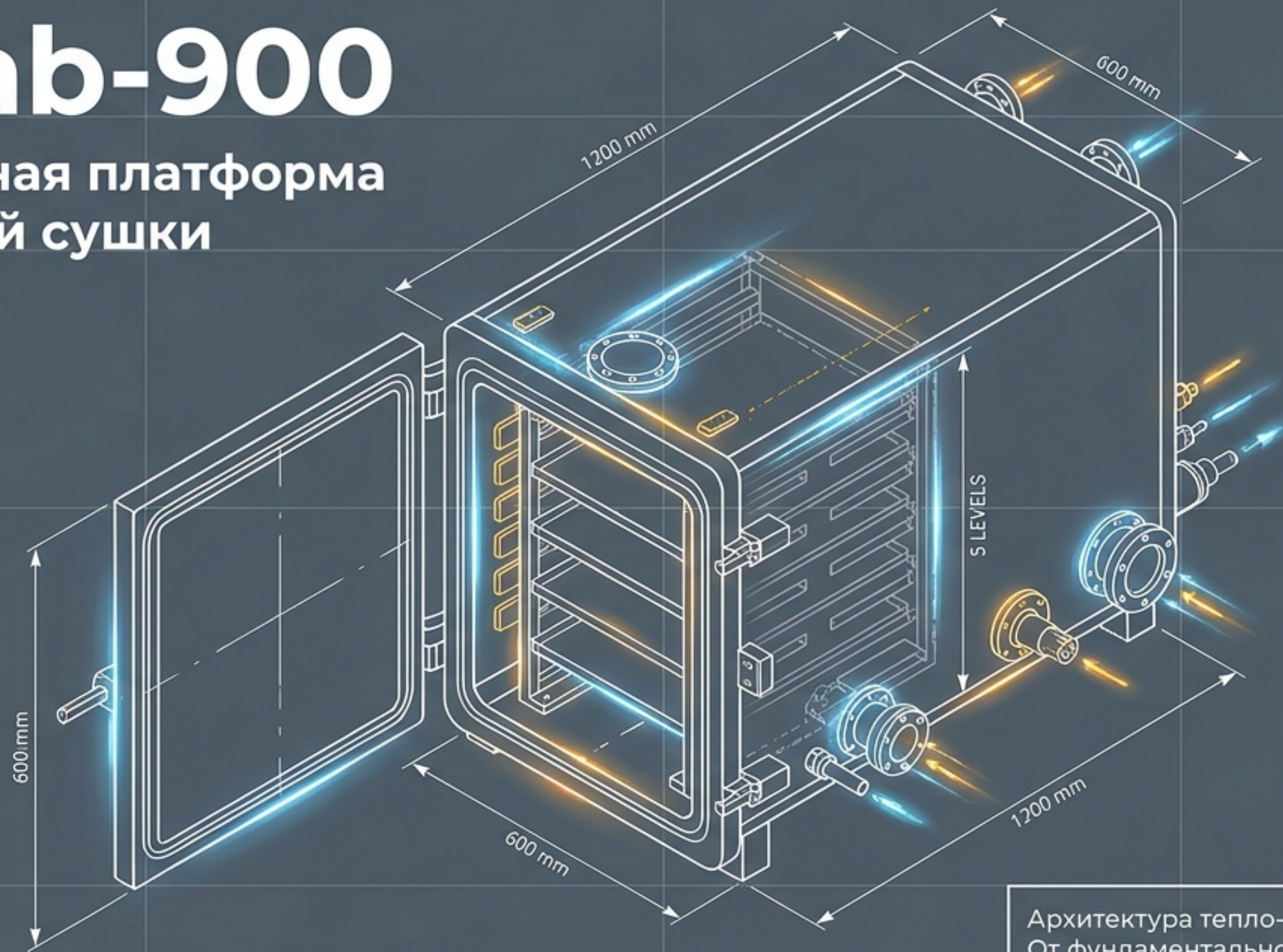


Liklab-900

Инженерная платформа
вакуумной сушки



Архитектура тепло- и массопереноса //
От фундаментальной физики к проектному ТЗ

PROJECT:

PROJECT:

DATE:

DRAWING NO:

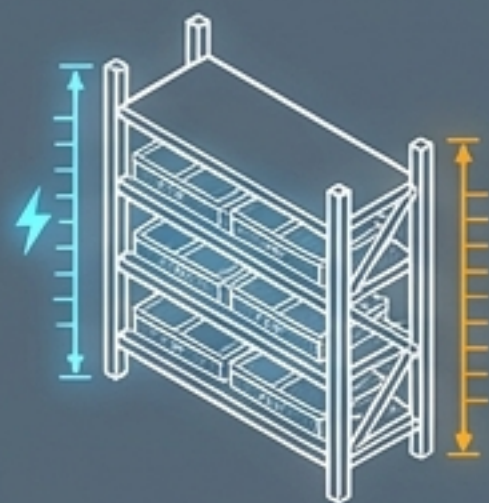
ENGINEER:

Не «коробочное» решение, а адаптивный конструктор



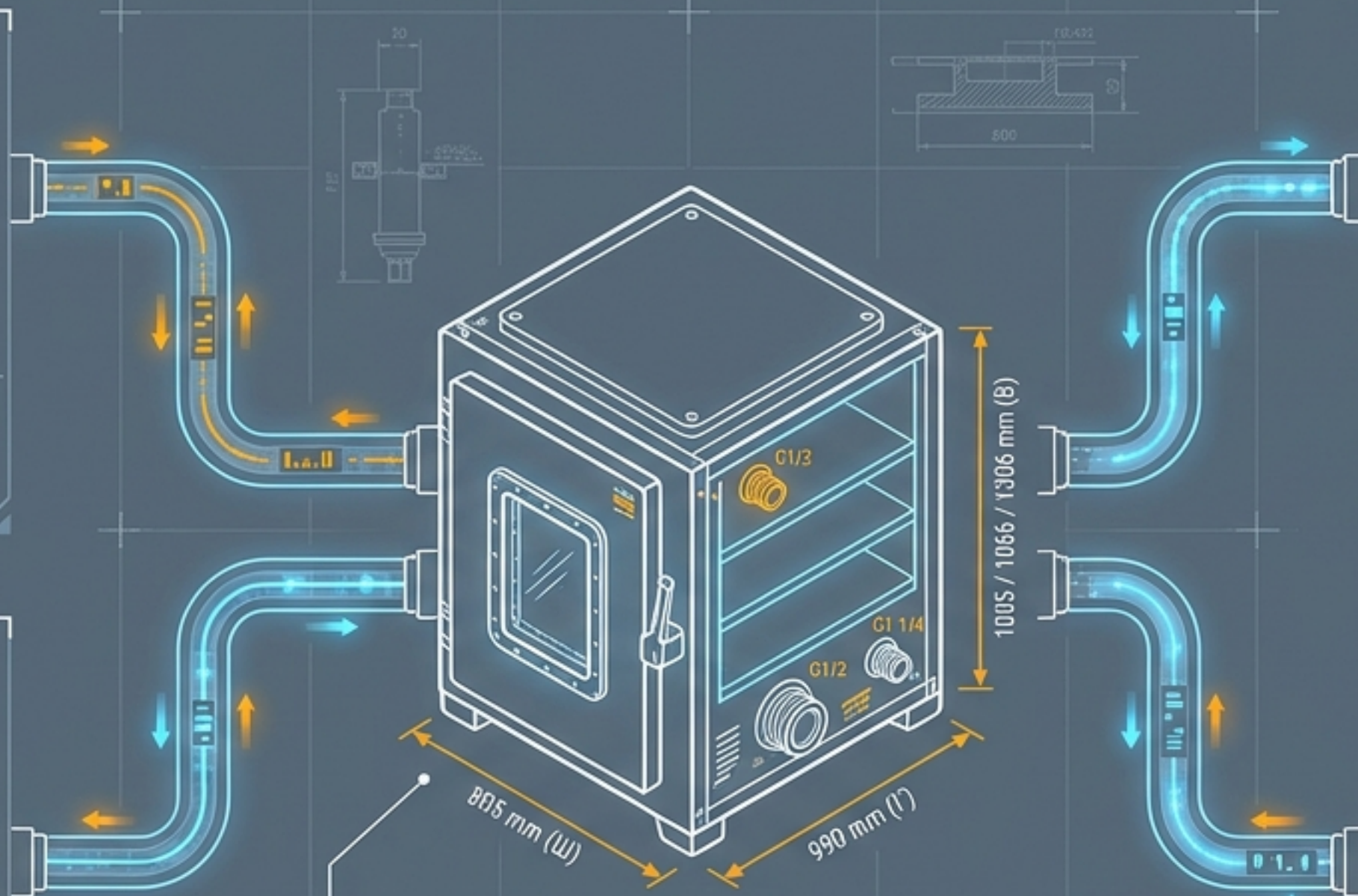
Давление и Температура:

Не заданы жестко.
Рассчитываются под физику
вашего продукта.



Производительность:

Масштабируется количеством
и типом полок.



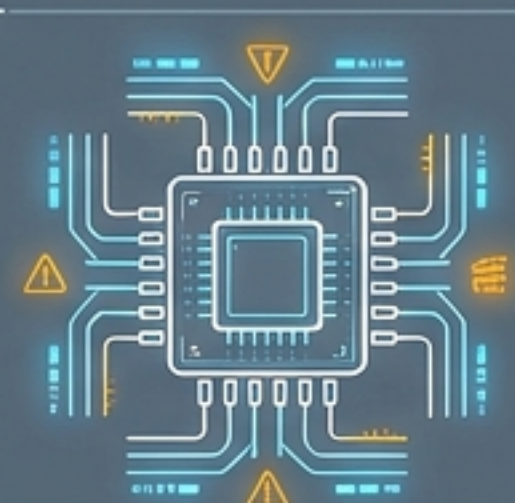
Liklab-900: Универсальное ядро

Прямоугольная многоярусная камера с
фронтальной дверью, смотровым окном и
стандартизированными портами (G1/2, G1 1/4).
Габаритные маркеры: 805 / 990 / 1005 / 1066 / 1306 мм.



Откачка и Удержание:

Конфигурация насосов и
ловушек подбирается под
ожидаемую паровую нагрузку.



Автоматика:

ПИД-регулирование и защита.

Фазовое равновесие: Управление движущей силой

Снижение барьера:

Вакуум экспоненциально снижает температуру кипения.

Мы удаляем свободную влагу без термической деградации продукта.

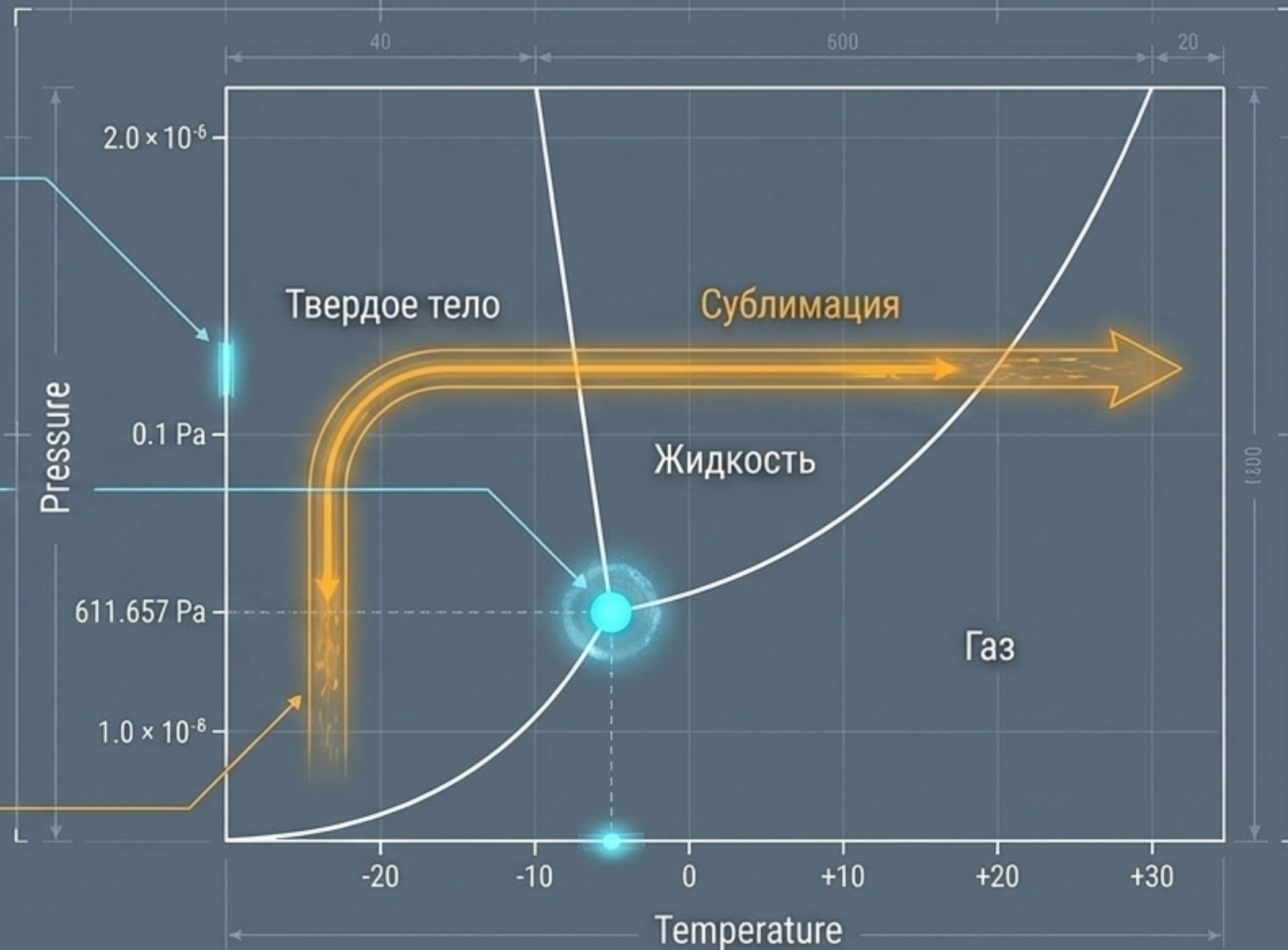
Тройная точка воды:

0.01°C, 611.657 Pa.

Граница, определяющая режим (сушка из жидкой фазы или сублимация льда).

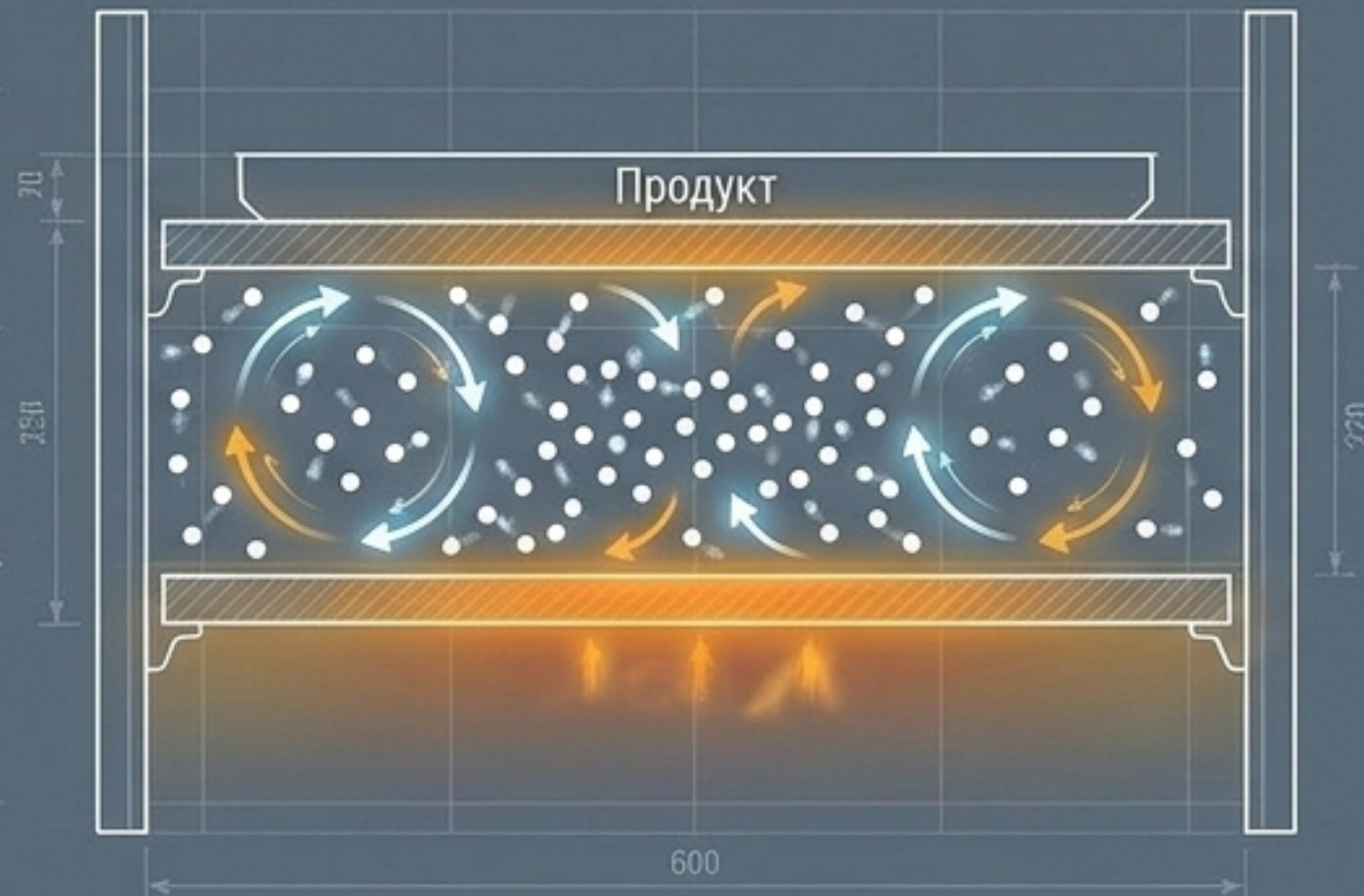
Движущая сила:

Разность парциальных давлений пара у поверхности продукта и в объеме камеры — главный двигатель массопереноса.

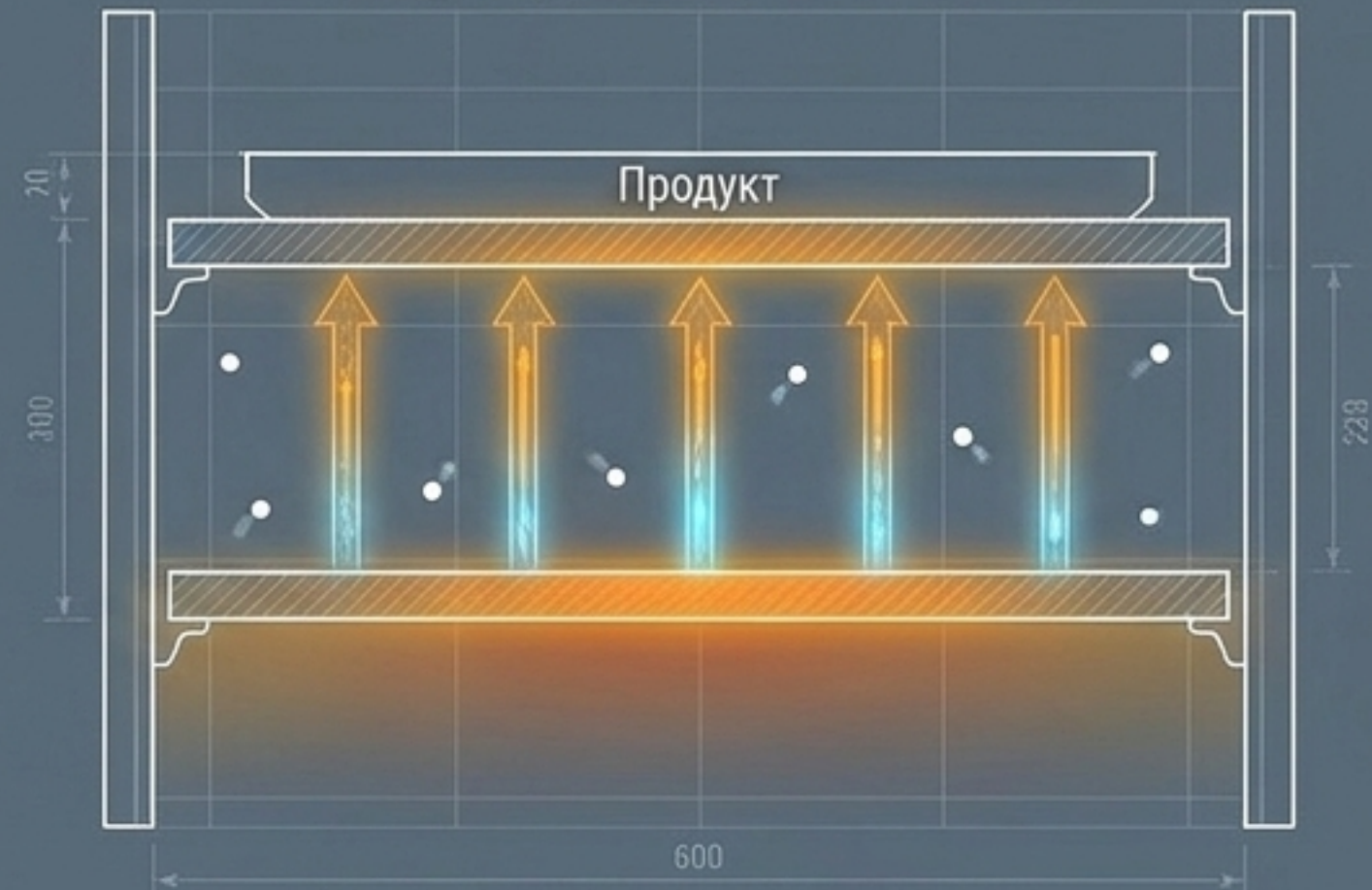


Теплопередача в разреженной среде

Атмосферное давление (Континуум)



Вакуум (Режим скольжения)



Потеря конвекции:

При снижении давления длина свободного пробега молекул (λ) возрастает.



Число Кнудсена (Kn):

$$Kn = \frac{\lambda}{L}$$

Переход от континуального режима к режиму скольжения ($0.01 \leq Kn \leq 0.1$). Возникает температурный скачок.

Компенсация:

Теплопередача обеспечивается теплопроводностью (через контакт) и радиационным излучением от полок.



Диагностика узких мест массопереноса



Архитектура камеры Liklab-900

Фронтальный доступ:

Окно для визуального контроля (защита от вспенивания) и широкая дверь для эргономичной загрузки/выгрузки.



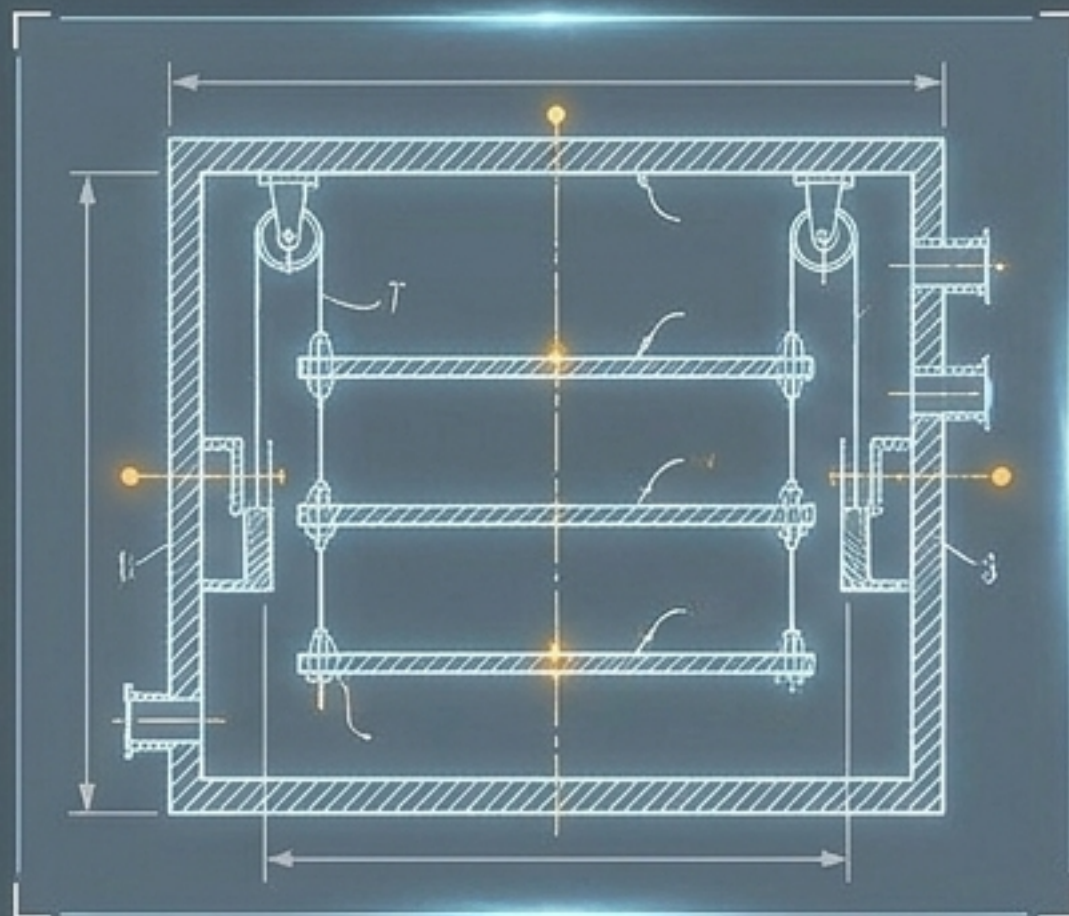
2. Геометрия рабочей зоны:

Прямоугольное сечение минимизирует мертвые объемы по сравнению с цилиндрическими камерами, оптимизируя радиационный теплообмен.

3. Универсальные порты:

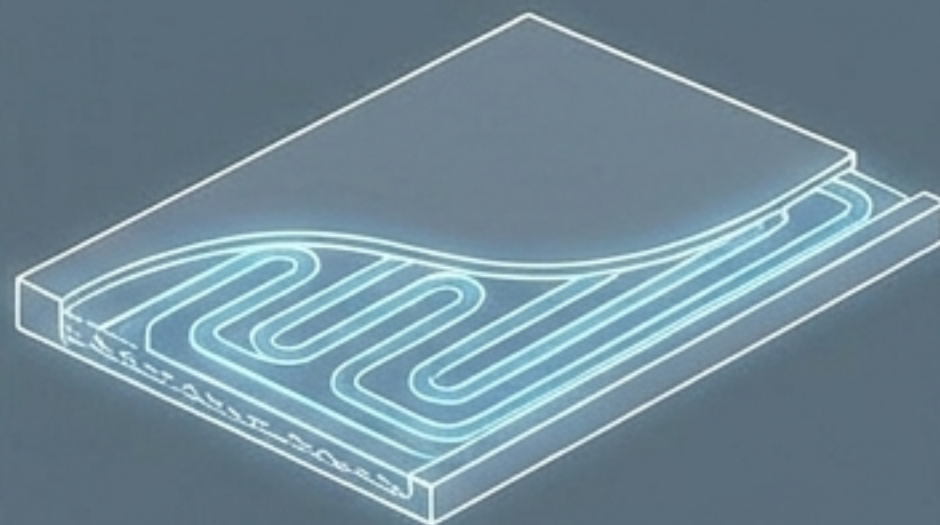
Вакуумные магистрали G1/2 и G1 1/4 для интеграции датчиков, напуска и откачки.

Эволюция теплообменных полок: Технический фон



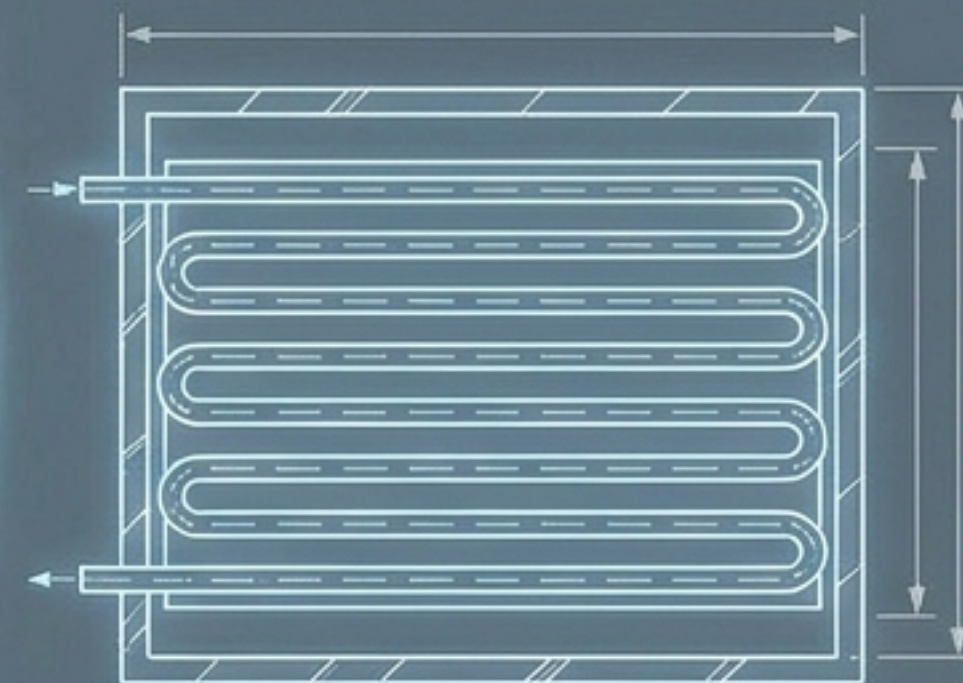
US4177577A (Подвижность):

Историческое решение проблемы подвеса и регулировки высоты полок на тросах. Гибкость конфигурации под разную тару.



WO2011095756A1 (Гигиена и Нагрев):

Интеграция циркуляционных каналов внутри полок. Отсутствие скрытых полостей для легкой очистки.

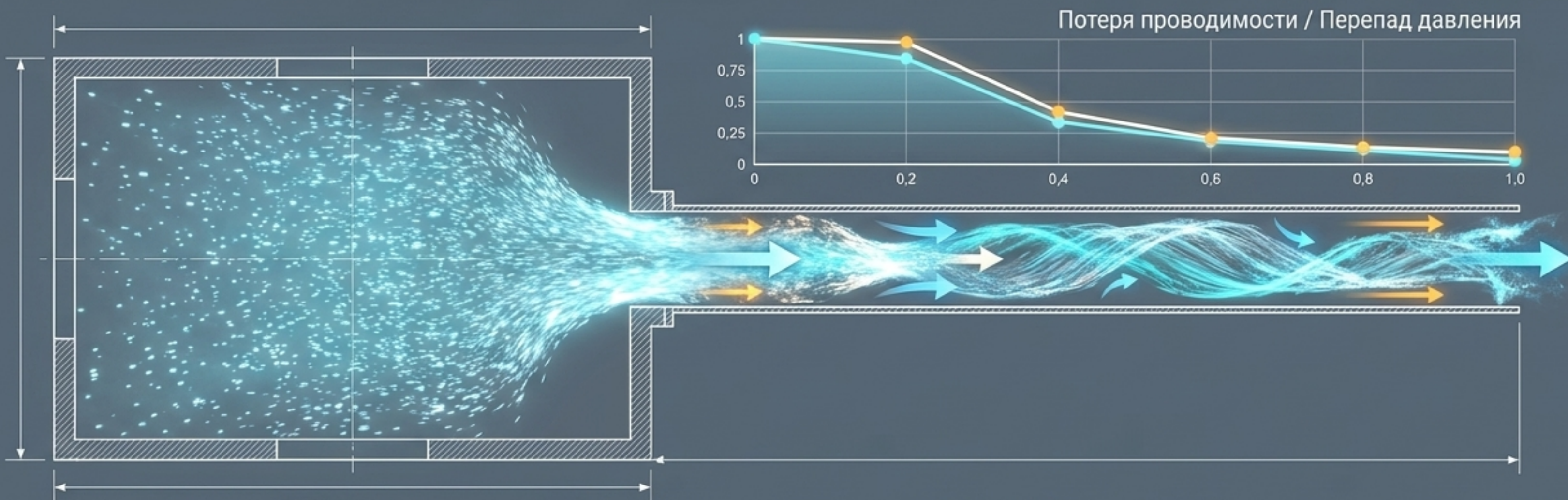


CN11148666A (Термостабилизация):

Формирование внутренних направляющих каналов без сплошной сварки труб для идеальной плоскостности.

Синтез Liklab: Платформа учитывает мировой опыт — приоритет отдается максимальной площади контакта, строгому градиенту температур и механической стабильности.

Паровой тракт: Вакуумная проводимость



Закон Кнудсена для потока:

Проводимость трубопровода радикально падает при уменьшении диаметра портов.

Расчет магистрали:

Неверно подобранный диаметр или длина шланга создадут «пробку», снизив эффективную скорость откачки в камере в несколько раз.

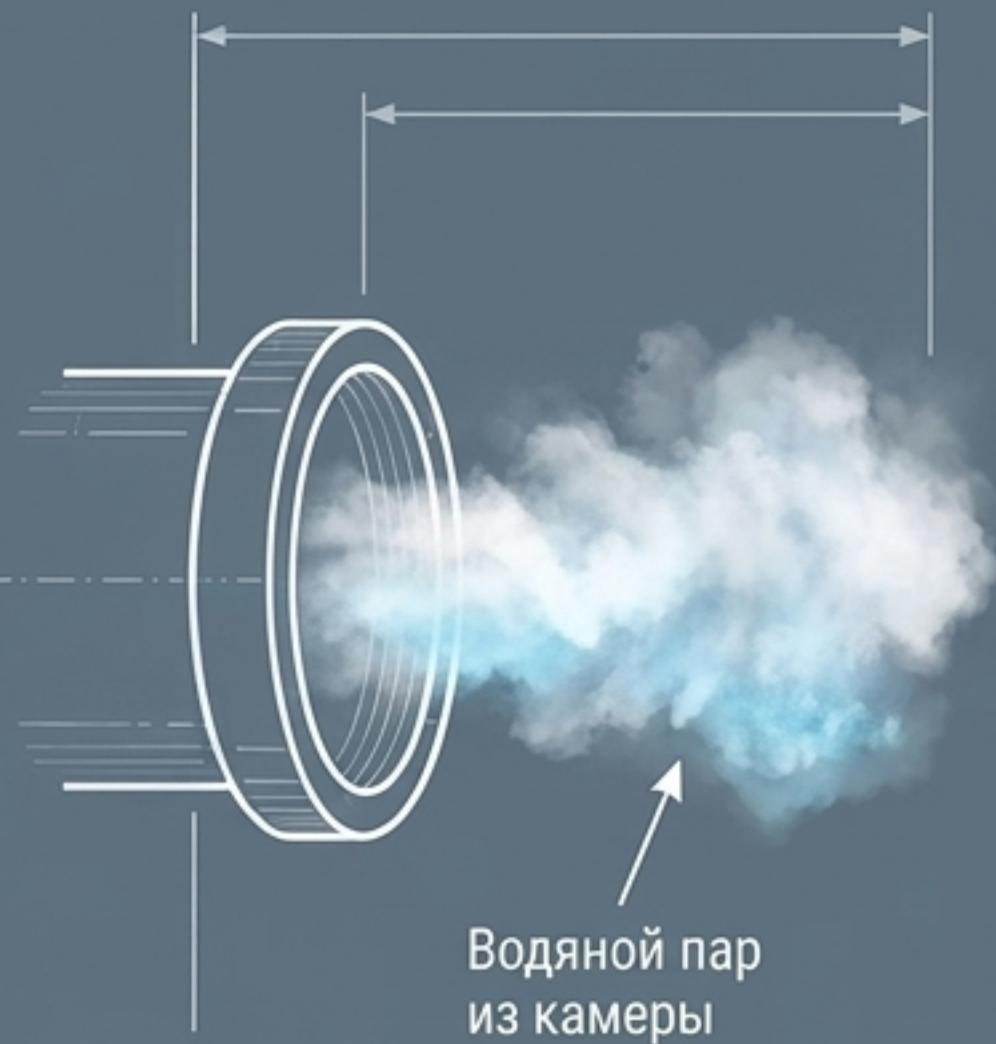
Инженерный подход Liklab:

Диаметры портов G1/2 и G1 1/4 интегрированы с учетом расчетов проводимости для целевых паровых нагрузок.

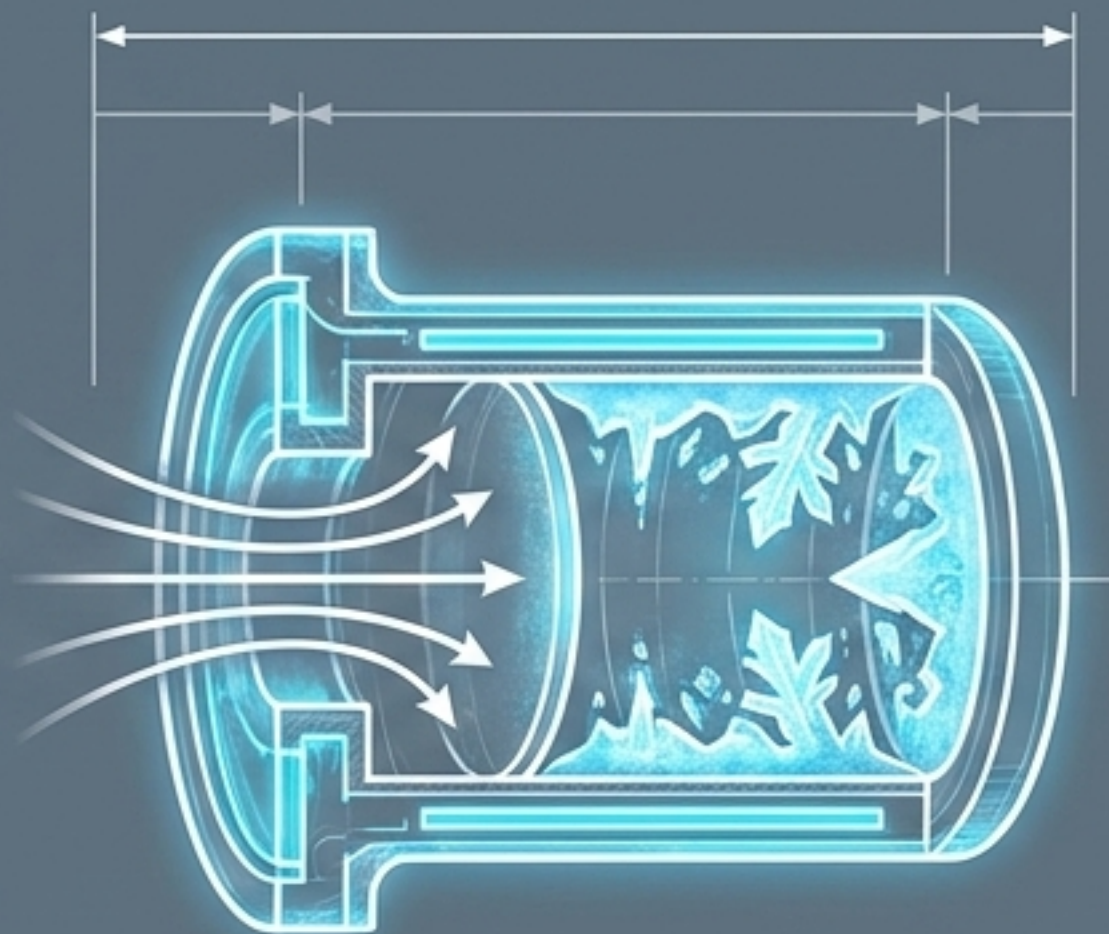
Разделение труда: Ловушка и Насос



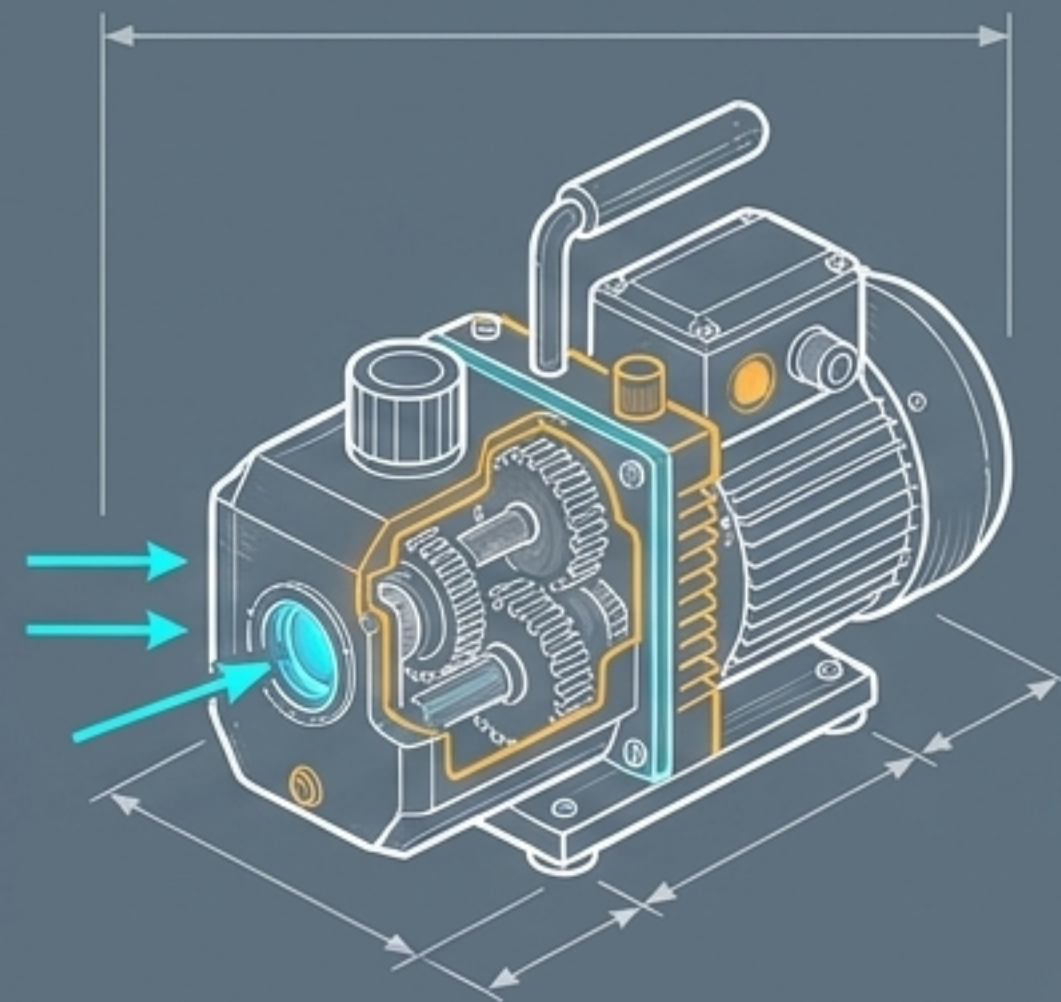
Внимание: Возможна конфигурация с сухими насосами и газобалластом для специфических ТЗ.



Водяной пар
из камеры

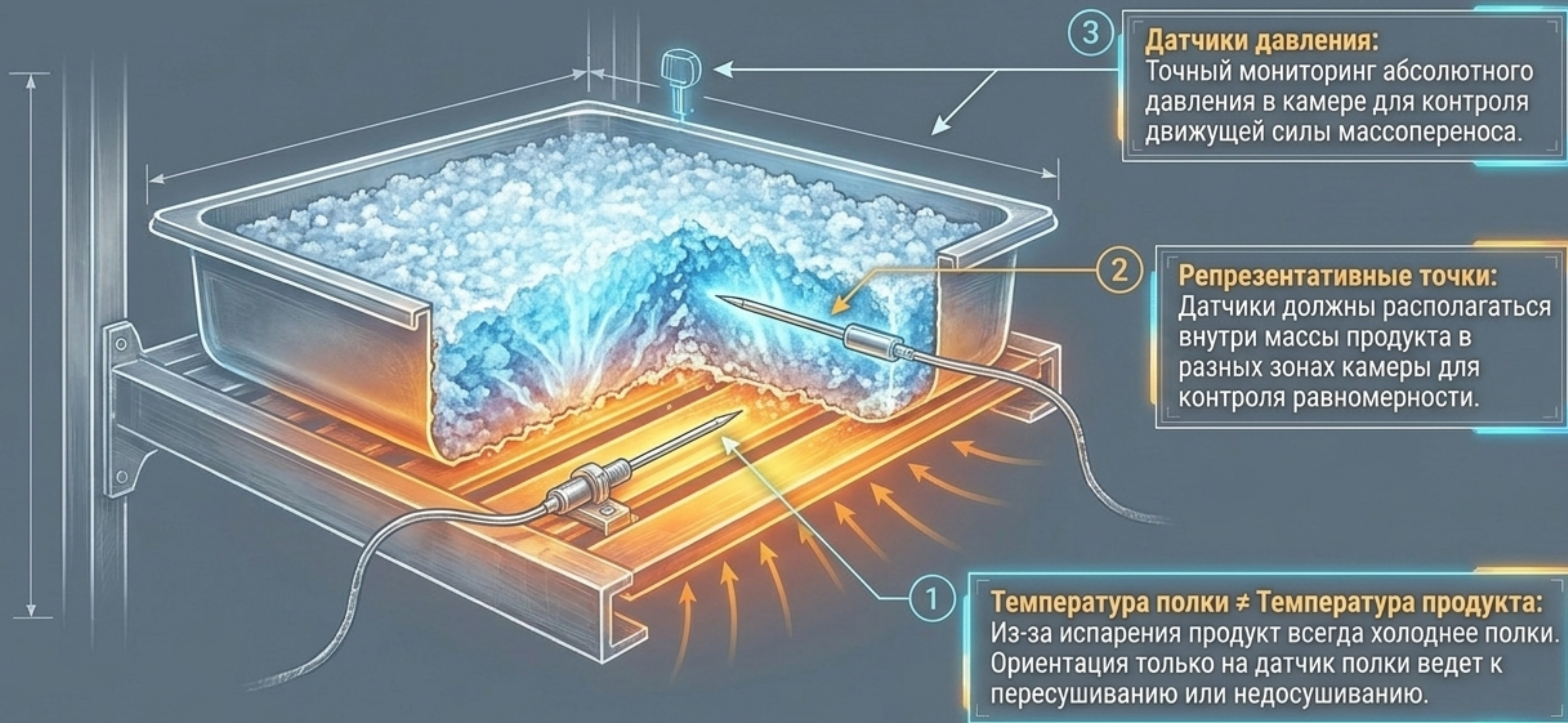


Конденсатор (Холодная ловушка):
Главный инструмент удаления влаги.
Перехватывает водяной пар.
Подбирается строго по максимальной
массе испаряемой влаги в час.

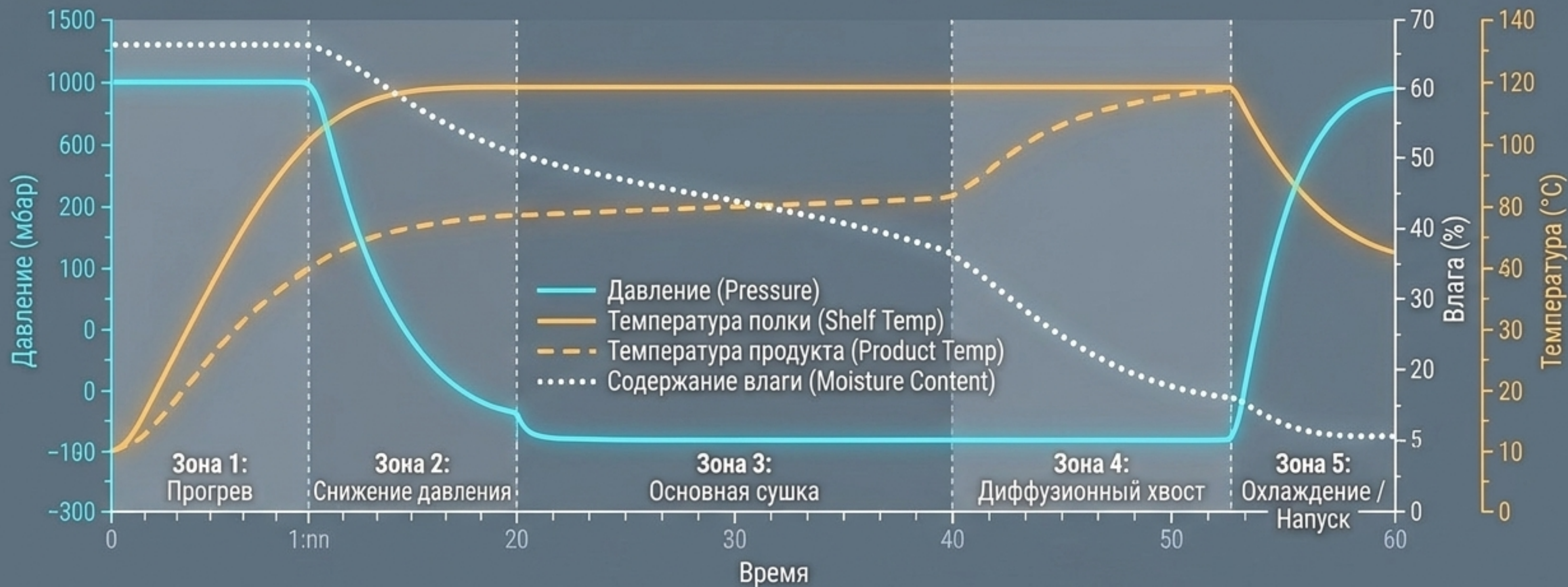


Вакуумный насос:
Откачивает только
неконденсируемые газы (воздух).
Защита инвестиций: Попадание пара
в маслонасос приводит к поломке.

Метрология: Видеть реальный процесс



Динамика процесса: Управляемый рецепт



Прогрев:
Подача тепла до вакуумирования.

Снижение давления:
Контролируемый сброс во избежание резкого вскипания.

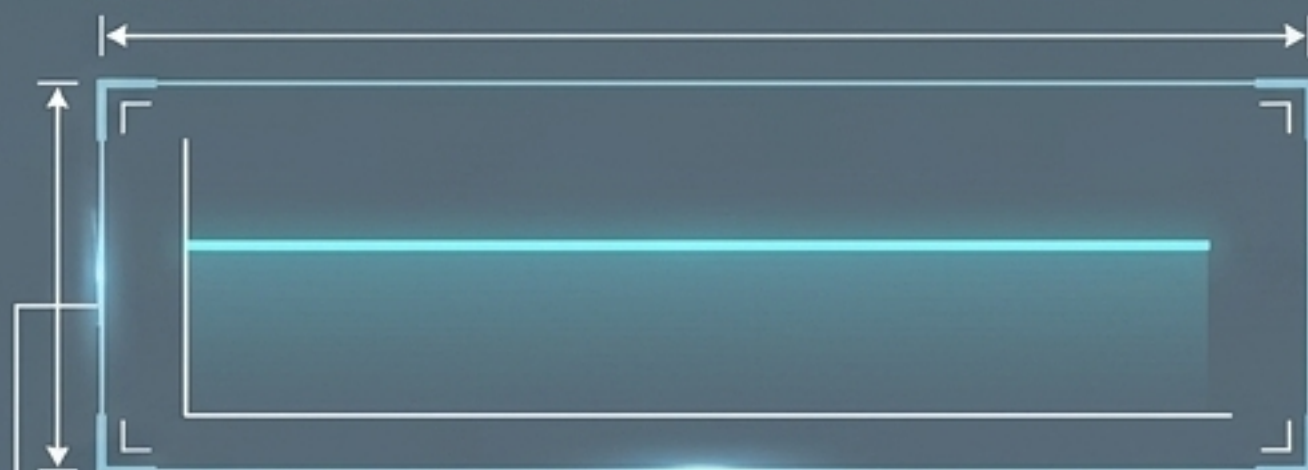
Основная сушка:
Удаление свободной влаги.

Диффузионный хвост:
Удаление связанной влаги.

Охлаждение / Напуск:
Возврат к атмосфере инертным газом.

Метрика успеха: Критерии окончания сушки

Показания одного вакуумметра недостаточно — низкое давление может означать лишь то, что насос работает быстрее, чем идет внутренняя диффузия.



- **dp/dt Тест (Натекание)**

Изоляция камеры на 30 минут. Если продукт выделяет остаточную влагу, давление вырастет. Жесткий физический критерий.



- **Потеря массы**

Интеграция тензодатчиков для мониторинга выхода на плато веса продукта.



- **Влажность газа**

Анализ откачиваемой среды на выходе из камеры.



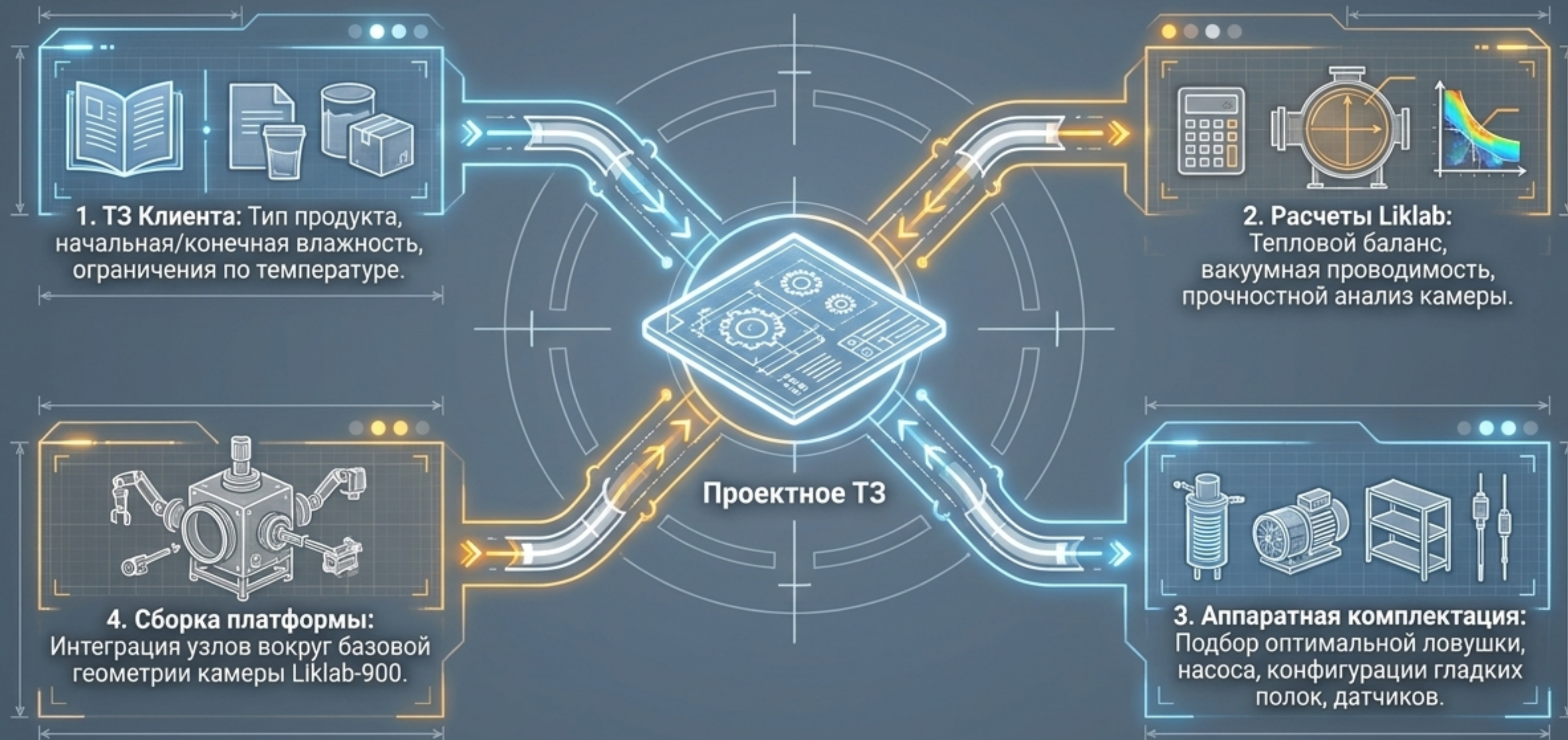
- **Расчетное время**

Эмпирически подтвержденный профиль рецепта для серийных партий.

Управление физическими рисками

Причина	Следствие 	Решение Liklab 
Слишком быстрое вакуумирование	Вспенивание, брызгоунос частиц, шоковое замерзание влаги.	Программное дросселирование откачки, визуальный контроль через фронтальное окно.
Избыточный тепловой напор	Образование сухой корки на поверхности (запирает внутреннюю диффузию).	ПИД-регулирование температуры полок по обратной связи от датчиков внутри продукта.
Атмосферный кислород при напуске	Мгновенное окисление дегидрированного продукта.	Интеграция портов для напуска инертного газа (азот/аргон) в финале цикла.

От задачи к платформе: Жизненный цикл инжиниринга



Финальный аккорд надежности: Испытания FAT и SAT

FAT - Factory Acceptance Test



Заводские испытания платформы.
Подтверждение натекания, предельного вакуума
и равномерности нагрева полок на стенде Liklab.

SAT - Site Acceptance Test



Пусконаладка на объекте заказчика.
Интеграция в производственную линию, тестовые
прогоны с продуктом, подтверждение ТЗ.

Liklab-900. Проектируем физику, поставляем уверенность. | leaklab.ru