

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Система криогенное обеспечения в
кабелях на основе
высокотемпературных
сверхпроводников.

Аспирант - Глушаев А.В.
Науч. Руководитель- д.т.н. Баранов А.Ю.

Санкт-Петербург, 2019

На сегодняшний день широко развивается сверхпроводниковое оборудование на основе высокотемпературного сверхпроводника

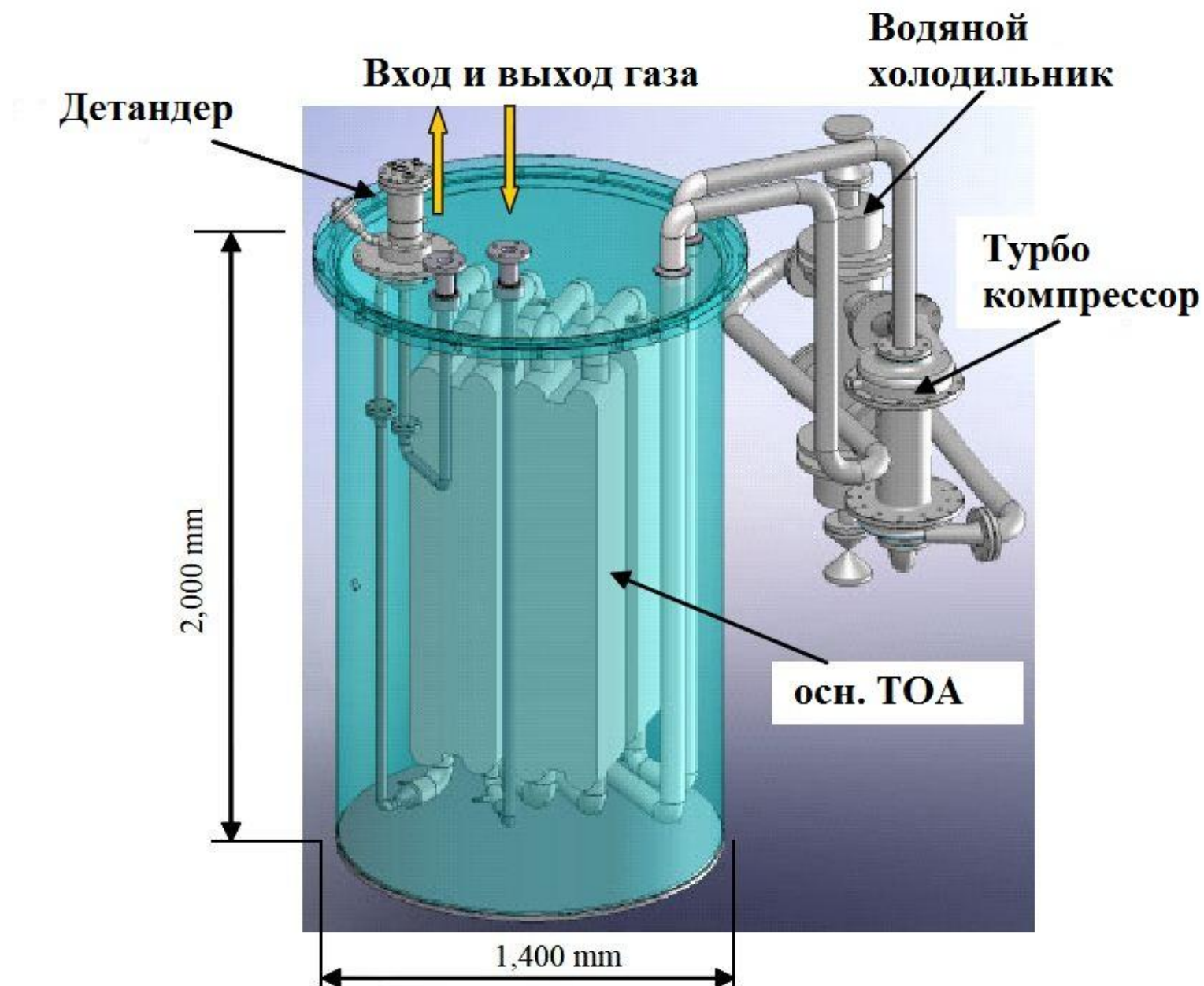


Сверхпроводниковый ограничитель тока
От компании NEXANS



Однофазный ВТСП кабель установленный в Шеньян, Китай

Это связано с экономичным охлаждением с помощью жидкого азота.



Схематичное изображение неоновой криорефрижератора на обратном цикле Брайтона

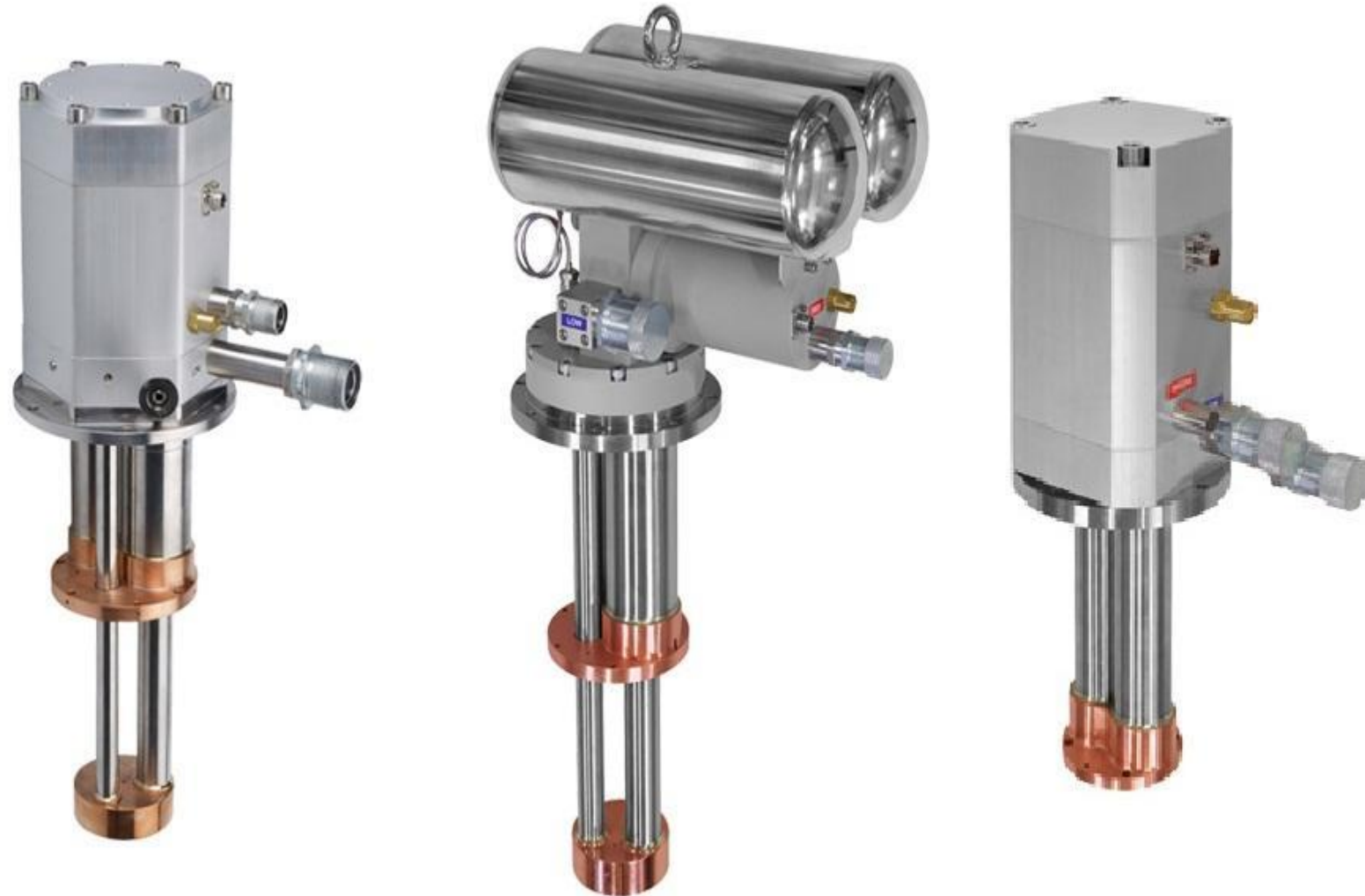
Для успешной разработки сверхпроводящего оборудования необходима отлаженная криогенная система, которая поддерживает заданную температуру сверхпроводника на определенном уровне.

Система криостатирования должна обеспечить следующие эксплуатационные условия:

- Охлаждение сверхпроводника до стабильной рабочей температуры, при которой проводник достигает рабочих параметров. Компенсацию подвода теплоты от объекта, источником выделения которой могут быть вихревые токи, джоулевая теплота в электрических контактах и переключателях и т.д.
- Стабилизацию температуры для поглощения малых импульсов нагрева вызванных скачками электрического тока внутри
- Защита от квенча, то есть защита при неконтролируемом переходе всего сверхпроводника в нормальное состояние в устройстве с последующим выделением запасенной энергии из-за повышения сопротивления в цепи.

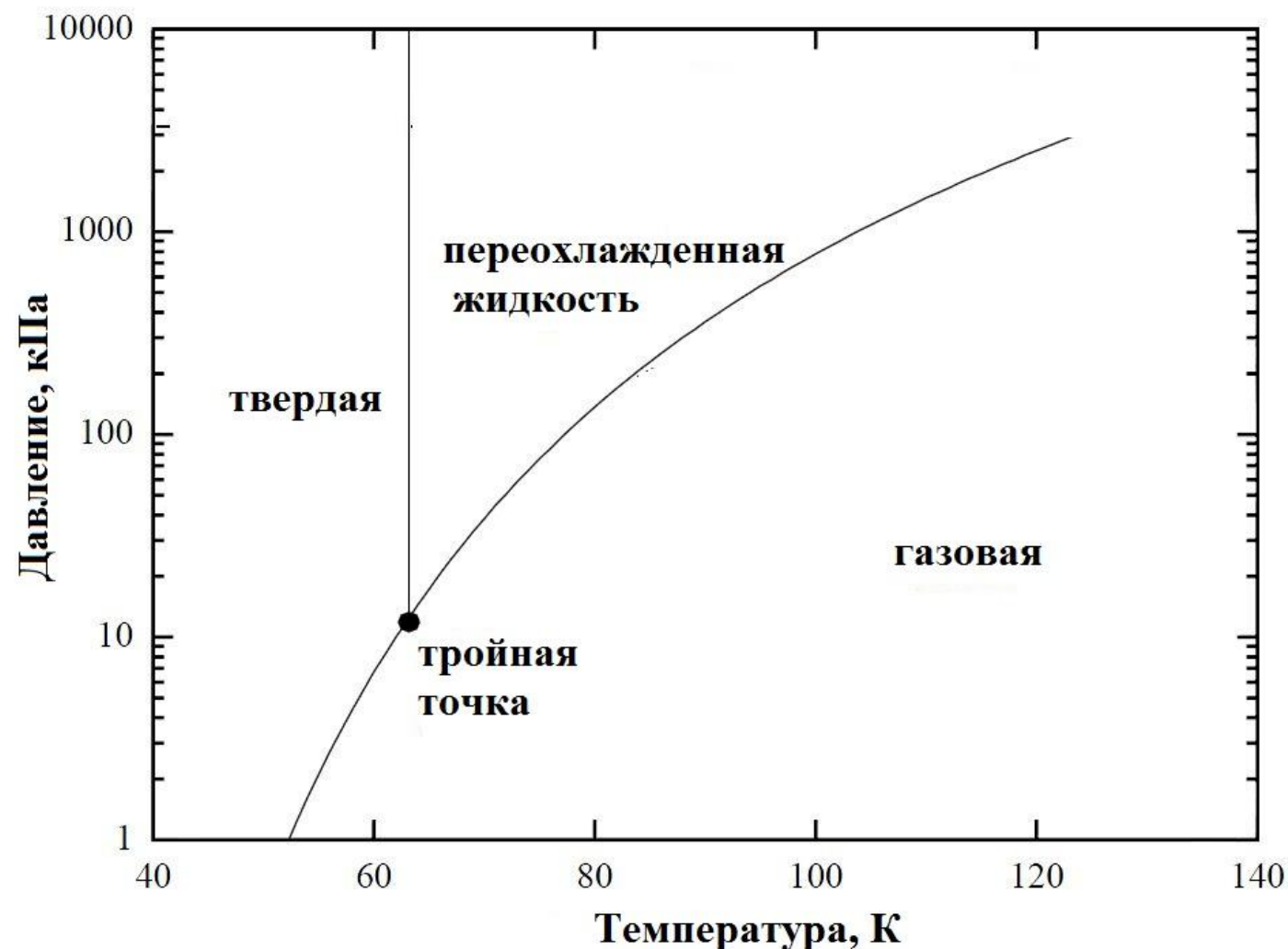
Криорефрижераторы

Криорефрижераторы используют для создания закрытых(замкнутых) криогенных систем, которые длительное время могут работать автономно с минимальными скачками температур.



Так же с помощью них можно поддерживать заданную температуру криостатирования отличную от температур кипения известных криоагентов.

Переохлажденный жидкий азот

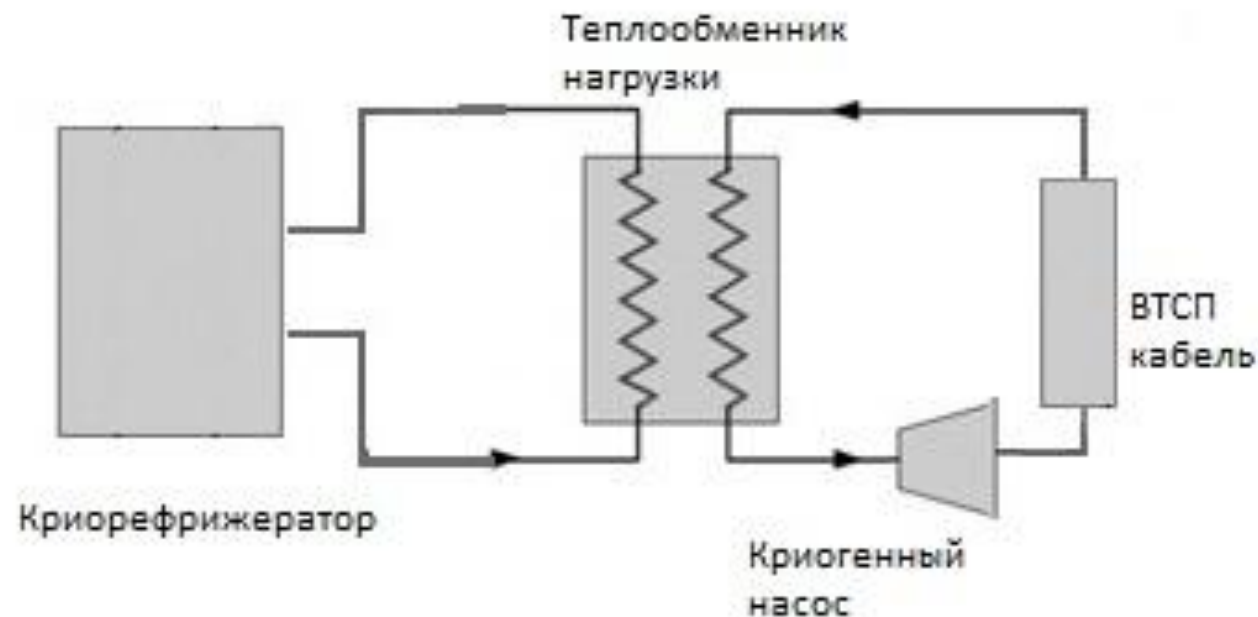


увеличивается максимально допустимая плотность электрического тока, поэтому магнитные системы могут быть уменьшены в размерах.

переохлажденная жидкость не кипит и в ней не образуются пузырьков, что улучшает электрическую изоляцию проводника, что очень важно в высоковольтном оборудовании, например ограничители электрического тока.

При резком нагреве в результате аварии, переохлажденная жидкость сначала поглотит избыточную энергию за счет перегрева до температуры насыщения и только потом будет испаряться.

Схемы криостатирования

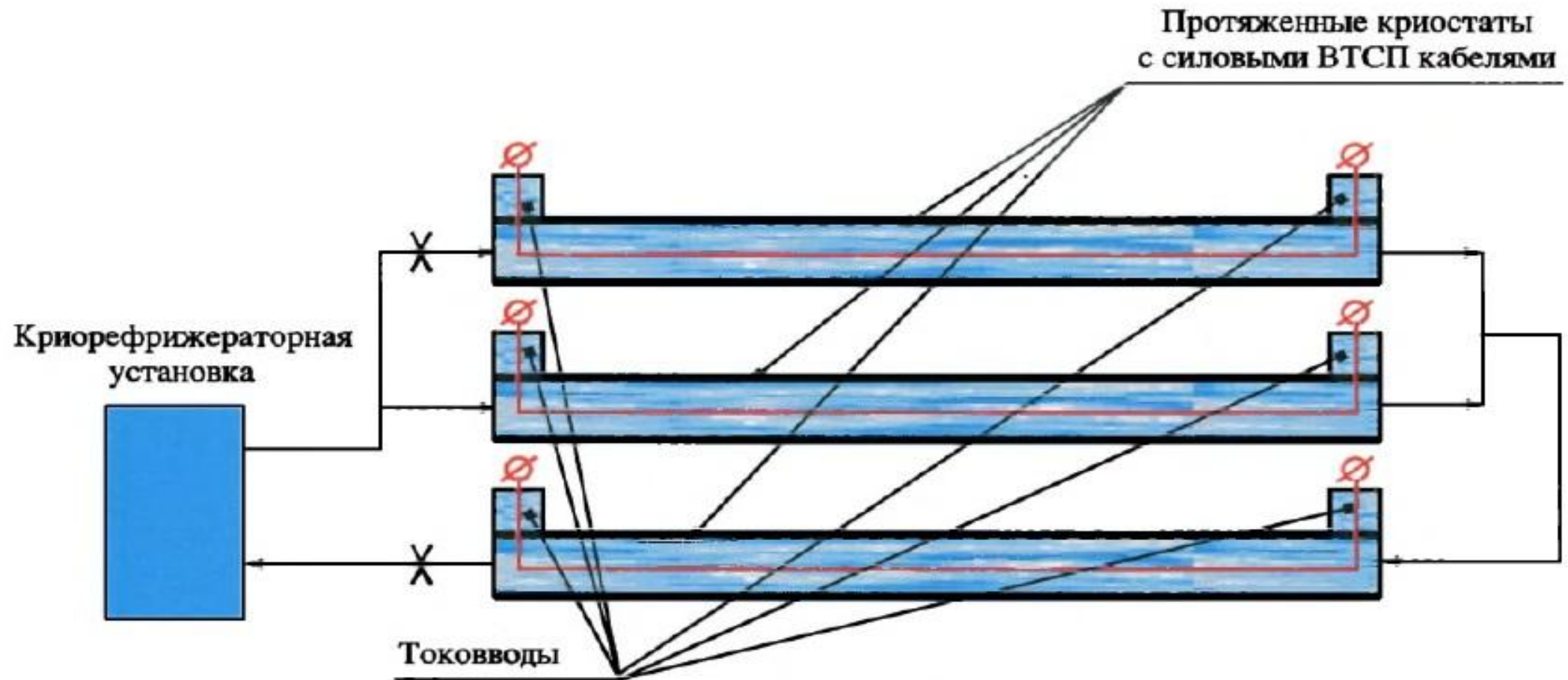


Циркуляционный насос СКО обеспечивает оптимальный расход жидкого азота.

Теплота из окружающей среды рассеивается по длине всего криостата, что вызывает разность температур криоагента на входе и выходе из ВТСПК.

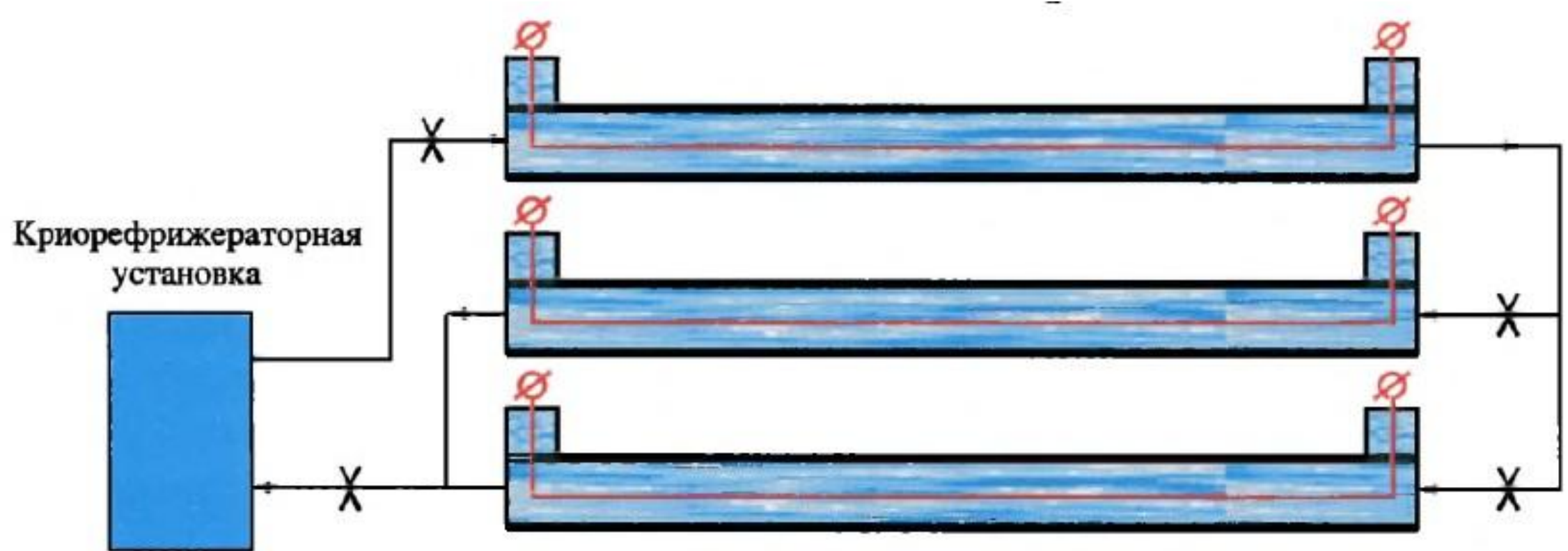
Выбор схемы циркуляции влияет на изменение температуры по длине криостата

Схемы криостатирования



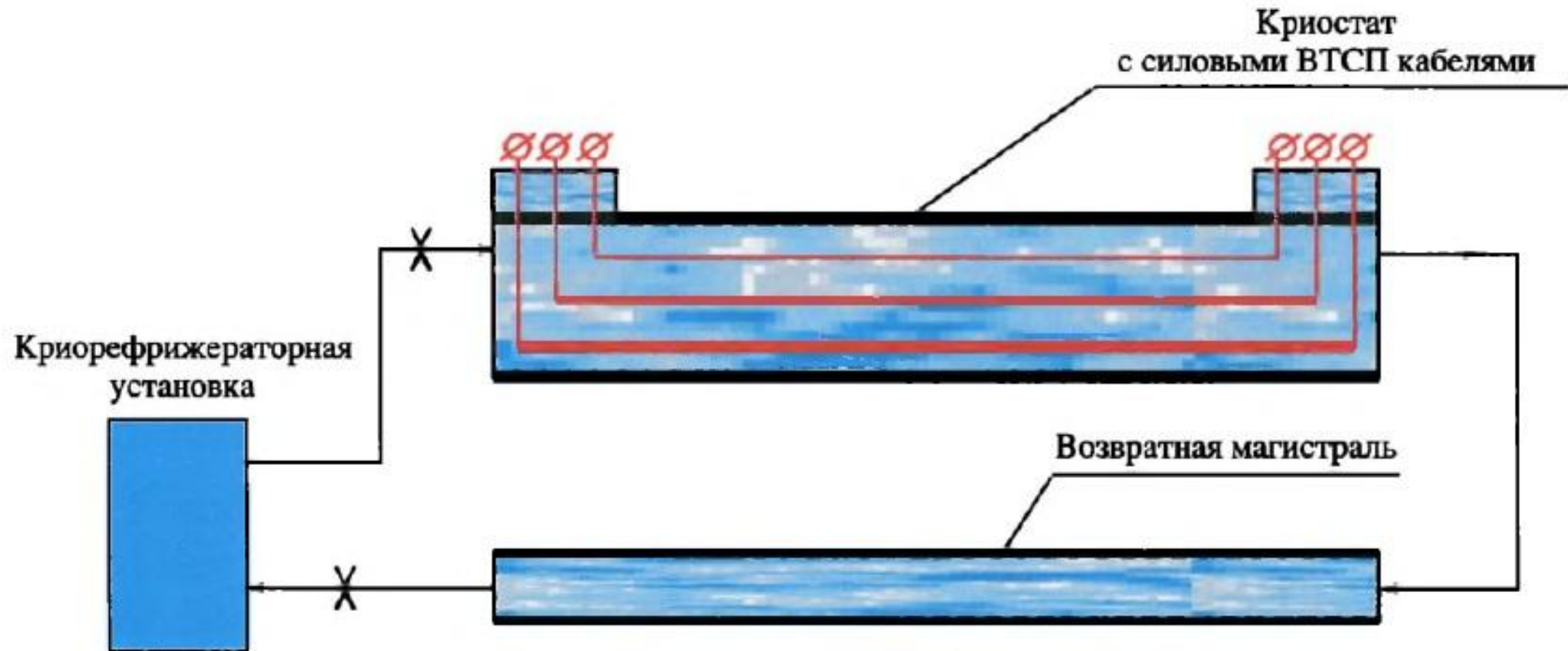
Вариант 1
Прямой поток – 2 криостата
Обратный поток – 1 криостат

Схемы криостатирования



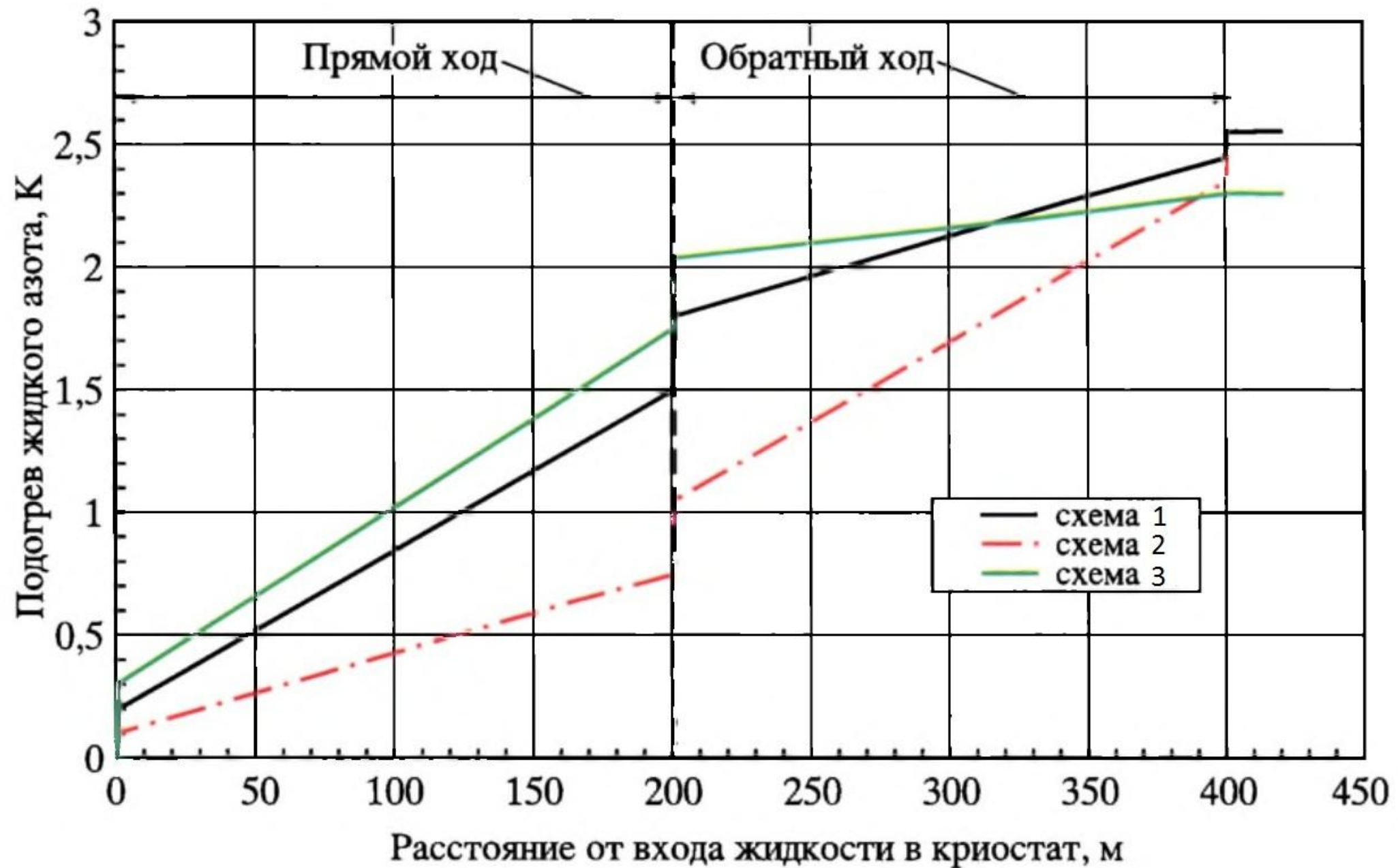
Вариант 2
Прямой поток – 1 криостат
Обратный поток – 2 криостата

Схемы криостатирования



Вариант 3
Прямой поток – 3 криостата
Обратный поток – возвратная магистраль

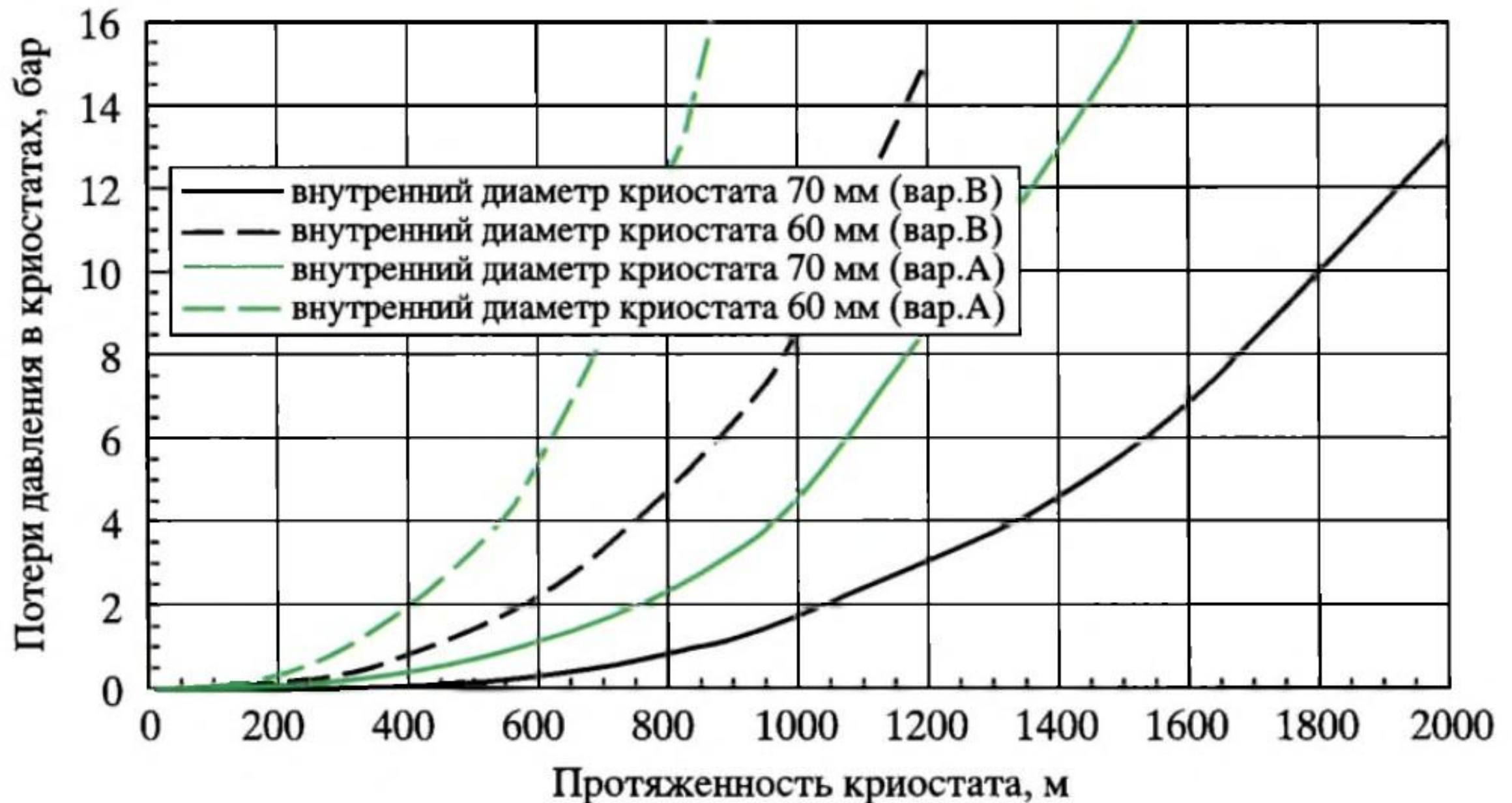
Подогрев жидкости в криостатах



Подогрев жидкости в криостатах

При увеличении количества фаз ВТСПК в прямом направлении увеличивается температура на выходе из участка при том же расходе криоагента. Это связано с тем, что при увеличении количества фаз увеличиваются тепловые потери, которые снимаются жидким азотом. Следовательно на прямом направлении минимальная температура на конце участка будет у 2 варианта, а максимальная у 3. Схема 1 и 2 имеют одинаковый общий теплоприток, но разную динамику изменения температуры по длине. Так как на конце прямого участка температура ниже будет во 2 варианте, то и средняя температура по длине криостатов будет ниже. Из всех вариантов лучше происходит процесс захлаживания в варианте 2. Так как в обратном направлении расположено 2 криостата и через них с меньшими гидравлическими потерями будет проходить однофазный или двухфазный поток. Если рассмотреть вариант 3, то в нем будет минимальный перепад температур по длине криостатов, так как в этом варианте общие тепловые потери меньше чем в 1 и 2 варианте.

Гидравлические потери в кабеле



Вариант А – минимальный теплоприток
Вариант Б – максимальный теплоприток

Влияние длины силового кабеля на величину массового расхода жидкого азота

