

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ РАСЧЁТОВ НЕОБХОДИМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ ОТКАЧКИ ПАРОВ ГЕЛИЯ ДЛЯ ИСТОЧНИКА УХН НА РК ПИК

Сиротин А.В. (ИТМО; Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" – Петербургский институт ядерной физики), **Коптюхов А.О.** (Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" – Петербургский институт ядерной физики), **Лямкин В.А.** (Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" – Петербургский институт ядерной физики), **Бородин Г.О.** (Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" – Петербургский институт ядерной физики)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Зайцев А.В. (ИТМО)

Введение. В настоящее время на базе НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ проводится разработка и подготовка к запуску источника ультрахолодных нейтронов (УХН) на реакторе ПИК [1]. Работа камеры источника УХН предполагает криостатирование на температурном уровне 1 К с использованием рекуперативного теплообменника, где рабочим веществом является сверхтекучий гелий. Учитывая теплоизоляцию, особенности конструкции, выбор материалов и т.д., теплопритоки к рекуперативному теплообменнику и питающему его криостату относительно невелики и суммарно оцениваются в 3,14 Вт. Для компенсации этих, а также реакторных теплопритоков и обеспечения необходимого температурного уровня камеры источника УХН используется вакуумная откачка паров гелия. Требуется определить массу гелия, которую вакуумная система должна откачать в единицу времени для соблюдения равновесия в системе. Для нахождения полного необходимого массового расхода требуется найти долю гелия, ушедшую на компенсацию разницы между температурой, с которой гелий прибывает из криостата (4,2 К), и рабочей температурой теплообменника. Теоретические методы (в т.ч. расчётная формула и экстраполирование табличных данных из [2]) дают противоречивые результаты. Найденные по ним значения полного необходимого массового расхода гелия можно разбить на две чёткие группы: $0,50 \div 0,53$ и $0,65 \div 0,68$ г/с. Для определения верной группы методов было решено найти долю гелия, остающуюся в криостате после выхода на определённый температурный уровень, экспериментально.

Основная часть. Описанный ниже эксперимент проводился дважды для подтверждения измерений. Для эксперимента использовался криостат КГ60/300, заполняемый жидким гелием из ожижителя Linde L280. Система вакуумной откачки состояла из двух насосов Edwards GV600, одного насоса Edwards EHD4200IND и четырёх насосов Edwards HV30000. Эксперимент проводился с двумя гелиевыми уровнемерами American magnetics. Один был прикреплён к пруту, имевшему упор на полусферическое дно, а другой был подвешен так, чтобы обеспечить «нахлест» датчиков. По показаниям уровнемеров был рассчитан суммарный уровень, затем по нему был найден объём (на основе имеющейся 3D-модели криостата) и, затем, масса (используя значения температуры по термодатчикам Lakeshore Cernox CX-1030-AA для подбора значения плотности по справочнику [3]). Эти же вычисления были проделаны поточно с шагом в одну минуту после включения системы вакуумной откачки над жидкостью в криостате. Самый низкий температурный уровень, полученный в ходе эксперимента – 1,26 К. Полученные значения масс были нормализованы приведением первого значения к 1. Эти данные были затем уточнены учётом теплопритоков. Оценка величины теплопритоков была проведена на основе измеренных величин уровня и температуры гелия в криостате во время его отогрева на протяжении 16 часов. Величина теплопритоков была получена решением уравнения тепломассового баланса. Теплопритоки в криостат были оценены как $0,217 \pm 0,003$ Вт. Учёт

этой величины теплопритоков даёт изменение доли оставшегося в криостате после выхода на нижний температурный уровень гелия в пределах одной сотой (т.е. процентного пункта). Итоговые значения доли оставшегося в криостате гелия сведены для разных температурных уровней сведены в график. Данный эмпирический график отлично сходится с одной из двух групп графиков, полученных теоретическими методами (а именно с группой, дающей полный массовый расход для температурного уровня в 1 К равный $0,50 \pm 0,53$ г/с).

Выводы. Проведён эксперимент по измерению уровня жидкого гелия от температуры при работе системы вакуумной откачки над жидкостью. Проведён анализ результатов. Для уточнения результатов расчётов, сделанных на основе экспериментальных данных, проведена оценка теплопритоков в криостат. Эксперимент позволил разрешить проблему определения полного массового расхода гелия, необходимого для поддержания рабочего режима камеры источника УХН. Экспериментальные результаты подтверждают правильность группы подходов, дающей массовый расход гелия для поддержания температурного уровня в 1 К равный $0,50 \pm 0,53$ г/с.

Список использованных источников:

1. Источник ультрахолодных нейтронов на основе сверхтекучего гелия для реактора ПИК / Серебров А.П., Лямкин В.А., Фомин А.К., Онегин М.С. // ЖТФ, 2022. – №6 с. 899-906. DOI: 10.21883/JTF.2022.06.52522.21-22
2. Хэфер, Р. Криовакуумная техника. / Р.А. Хэфер. Пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1983 – 272 с.
3. Arp, V.D. Thermophysical properties of Helium-4 from 0.8 to 1500 K with pressures to 2000 MPa. / V.D. Arp, R.D. McCarty, D.G. Friend. – Washington: U.S. Government Printing Office, 1989 – 152 p.