

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КРИОКАМЕРОЙ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

М.М. Чупин, Р.Р. Латыпов

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
grey2paul@gmail.com

CREATING A CONTROL SYSTEM FOR A LARGE-VOLUME CRYOCHAMBER

M.M. Chupin, R.R. Latypov

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia
grey2paul@gmail.com

Аннотация. В статье описывается создание электроники и системы управления для радиопрозрачной криокамеры большого объема с рабочим стабилизированным диапазоном от 50 до -180 °С с целью исследований свойств радиоуровнемеров при рабочей температуре.

Ключевые слова: СПГ, радиоуровнемеры, ПИД-регулирование.

Abstract. This paper describes the creation of electronics and control system for a large-volume radio-transparent cryochamber with a stabilized operating range from 50 °C to -180 °C, which is aimed at studying properties of radio level meters at operating temperature.

Keywords: LNG, radio level meters, PID regulati.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой является измерение уровня сжиженного природного газа (СПГ) в резервуарах. СПГ хранится в специальных криобаках, устроенных по принципу сосуда Дьюара [Майорец, Симонов, 2013]. Изначально использовались механические (контактные) методы измерения уровня жидкости в криогенных резервуарах. Самым распространенным является поплавковый уровнемер, реализующий абсолютный метод измерения уровня, основанный на использовании различия плотностей веществ, образующих границу раздела. Поплавок подвешивается на металлической ленте или тросе. Но из-за сжатия металла при экстремально низких температурах и при большой длине — резервуары СПГ могут достигать более 100 м в высоту — данный метод имеет большую погрешность.

На сегодняшний день большое применение нашли радарные уровнемеры. Они используют микроволновый бесконтактный метод измерения. Принцип действия всех известных радарных уровнемеров основан на измерении времени распространения радиоволны от антенны уровнемера до поверхности продукта, уровень которого измеряется, и обратно. Более широкое распространение для высокоточных измерений получили радарные уровнемеры, использующие непрерывное модулированное по частоте радиоизлучение (FMCW) [Ridenour, 1947].

Но при рабочей температуре СПГ (-160 °С) происходит деформация как рабочей антенны, так и коаксиально-волнового перехода (КВП). Целью данной работы является создание радиопрозрачной криокамеры большого объема с широким стабилизированным рабочим температурным диапазоном для изучения влияния криотемператур на метрологические свойства радиоуровнемеров.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ КРИОКАМЕРЫ

Охладитель камеры представляет собой емкость с нагревательным элементом, в которой поддержи-

вается постоянный уровень жидкого азота. Нагреватель испаряет азот в основную секцию криокамеры (захолаживаемый объем) с отсеком для установки уровнемеров. Вентилятор используется для конвекции газа, а дополнительный нагреватель в захолаживаемой камере используется для подогрева. Для контроля температуры внутри камеры используется специально разработанный и поверенный для данной задачи датчик температуры. Блок-схема криокамеры изображена на рис. 1.

Для оптимального выхода на заданную температуру и поддержание ее в течение длительного времени в системе управления был реализован классический пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор [Chupin et al., 2019].

ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ НАЛИЧИИ БОЛЬШИХ ТЕПЛОПOTЕРЬ

Одной из проблем при создании камеры стала зависимость ее теплопроводности от температуры. Это связано с тем, что для обеспечения радиопрозрачности криокамеры в качестве изоляционного материала был использован экструзионный пенополистирол (утеплитель). При экстремально низких температурах происходит изменение геометрии камеры из-за сжатия утеплителя, приводящее к увеличению тепловых потерь. Также дополнительные тепловые потери вносит сам уровнемер, поскольку значительная его часть устанавливается на камеру

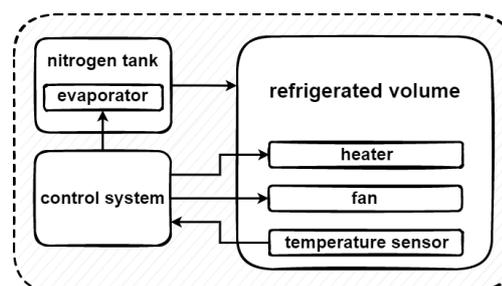


Рис. 1. Блок-схема криокамеры

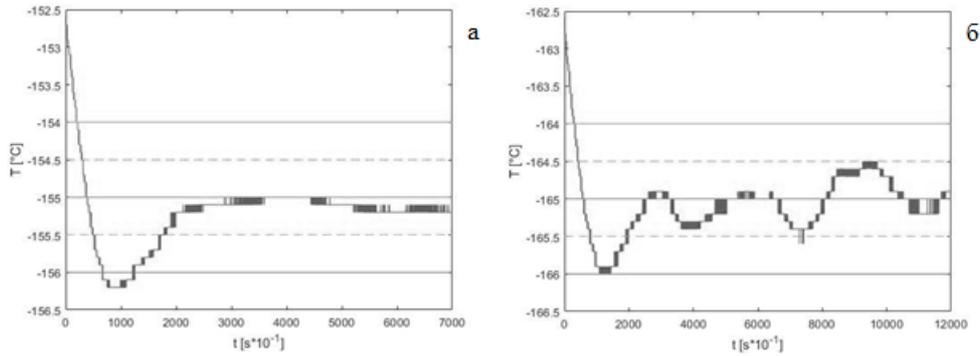


Рис. 2. Переходные характеристики системы для температур $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и $-165\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б) в пределах погрешности $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

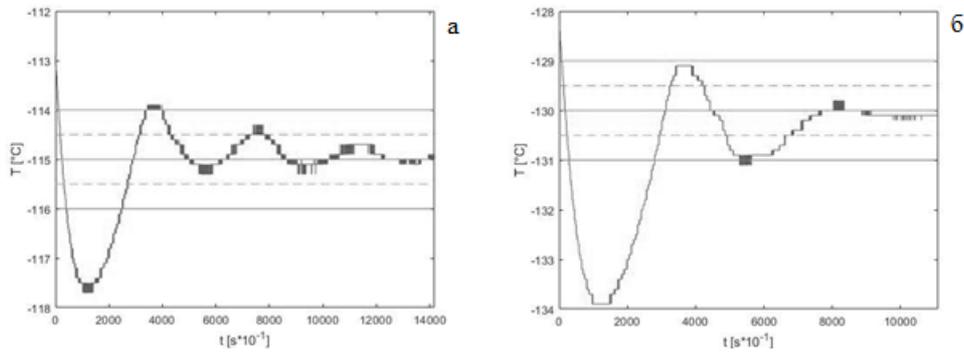


Рис. 3. Переходные характеристики для температур $-115\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б)

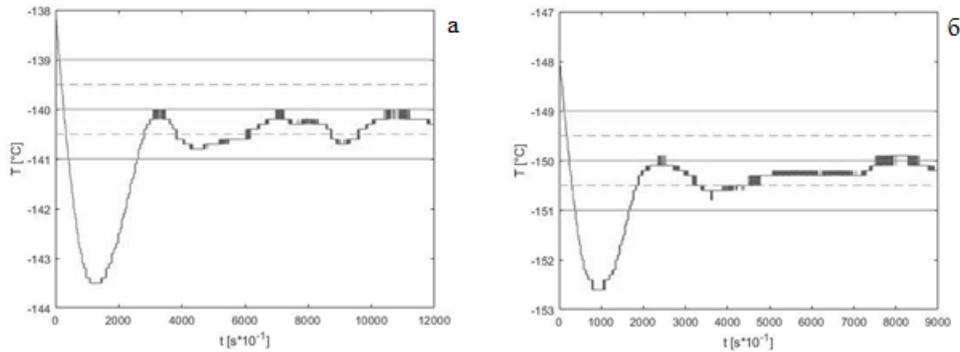


Рис. 4. Переходные характеристики для температур $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б)

сверху, аналогично использованию его в резервуарах СПГ.

Вследствие зависимости теплопроводности от температуры система перестает быть линейной. В таких условиях классический ПИД-регулятор работает некорректно. На рис. 2 представлены переходные процессы выхода системы на две разные температуры внутри рабочего объема криокамеры.

На рис. 2, а можно видеть небольшое перерегулирование с последующим стабильным выходом системы на заданную температуру. В то время как на рис. 2, б наблюдается аperiodическое поведение системы с небольшим выходом за пределы ошибки. Поведение такой системы невозможно предсказать в течение длительного времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Была проведена серия измерений с шагом $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Переходные процессы для каждого эксперимента

представлены на рис. 3 и 4.

При различных температурах переходные процессы различаются длительностью выхода на режим и количеством колебаний (рис. 3, а, б). На рис. 4, а изображен переходный процесс некорректного выхода на режим. Для некоторых температур наблюдается аperiodичность и нестабильный выход на режим (рис. 4, б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданная камера позволяет изучать свойства антенн и КВП при широком диапазоне температур, а также физические свойства (плотность и вязкость) различных жидких и твердых веществ. В ходе исследовательских испытаний была достигнута предельная температура $-182\text{ }^{\circ}\text{C}$ в рабочем объеме 80 л. Среднее время стабилизации заданной температуры с точностью $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило не более 15 мин от момента ее достижения.

Был использован экспериментальный метод анализа кривой изменения температуры при переходных характеристиках для подбора коэффициентов ПИД-регулятора при различных температурах.

При использовании ПИД-регулятора в системах с динамическими характеристиками — нелинейных системах — возникает необходимость корректировки ПИД-коэффициентов в режиме реального времени для оптимального выхода на каждую температуру.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Ridenour L.N. Radar System Engineering. 1947. P. 629.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Майорец М., Симонов К. *Сжиженный газ — будущее мировой энергетики*. М.: Альпина Паблицер, 2013. 360 с.

Chupin M., Latypov R., Mukhametzhanov F., Davydov Y., et al. Modernization of hardware and data processing methods of a coercive spectrometer. *2019 Russian Open Conference on Radio Wave Propagation (RWP)*. 2019. P. 450–453.