

УДК 533.59

М.И. ДУРНОВЦЕВ, А.Ю. КРАЙНОВ*, С.М. ГУБАНОВ**, М.В. ЧУКАНОВ***

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ ФТОРИСТОГО ВОДОРОДА В ОБЛАСТИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Рассматривается схема фракционной разгонки газовых смесей, применяемая для разделения гексафторида урана и фтористого водорода. Для сокращения затрат на охлаждение осадителей рассматривается возможность применения в качестве хладагента холодного воздуха с температурой 113 К. Степень улавливания фтористого водорода определяется давлением насыщенных паров при температуре охлаждения стенки осадителя. Для измерения давления насыщенных паров безводного фтористого водорода в интервале температур от 77 до 223 К была разработана и изготовлена экспериментальная установка. Проведены опытные работы по измерению давления насыщенных паров фтористого водорода в интервале температур от 77 до 223 К.

Ключевые слова: десублимация, фтористый водород, давление насыщенных паров.

Для десублимации фтористого водорода из газовой смеси в производстве АО «Сибирского химического комбината» используются специальные осадители, охлаждаемые жидким азотом до температуры 77 К. Осадитель представляет собой цилиндрическую ёмкость объемом 24 л с шестью пластинами-сегментами. Пластины-сегменты расположены поперек проходного сечения потока газовой смеси и повернуты под углами 60° по отношению друг к другу. Данные осадители экономически более целесообразно охлаждать холодным воздухом.

Результаты численного моделирования показывают, что фтористый водород достигает температуры стенки осадителя в первой трети емкости как в случае охлаждения жидким азотом, так и в случае охлаждения холодным воздухом. Таким образом, степень улавливания фтористого водорода в осадителях будет определяться только давлением его насыщенных паров при температуре охлаждения стенки осадителя [1].

Анализ научно-технических источников показывает, что данные, полученные экспериментальным путем, о давлении насыщенных паров фтористого водорода при температуре ниже 193 К отсутствуют. При этом в [2] приведены экспериментальные данные с соответствующим уравнением только в интервале температур от 273 до 378 К. Для измерения давления насыщенных паров безводного фтористого водорода при температурах от 77 до 223 К была разработана и изготовлена экспериментальная установка.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Экспериментальная установка состоит из перевернутого вверх дном осадителя 2, помещенного в специально разработанный отсек охлаждения, покрытый слоем теплоизоляции 4. Отсек охлаждения имеет два патрубка: нижний – для подачи охлажденного воздуха от воздушно-холодильной машины и верхний – для отбора отепленного воздуха из отсека. Для организации равномерного течения холодного воздуха вдоль стенки отсека охлаждения изготовлена напайка из стальной ленты в виде серпантина. В верхней части отсека охлаждения предусмотрена горловина для заливки жидкого азота 9. Также в верхней части предусмотрено место для установки термометра 8.

Осадитель имеет два патрубка. К одному из патрубков посредством медной трубки подсоединяется емкость $V = 0.5$ л с безводным фтористым водородом 1. Емкость 1 помещается в специальный дьюар 3 для охлаждения жидким азотом. Ко второму патрубку посредством коллектора подключены измерительные приборы давления в установке: мановакууметр 5 с пределом измерения от 0 до 1 атм; оптический манометр ОМ-6-10 с пределом измерения от 0 до 10 мм рт. ст.; оптический манометр ОМ-7-1 с пределом измерения от 0 до 1 мм рт. ст. В процессе опытных работ температура воздуха измерялась на выходе из воздушно-холодильной машины с помощью термопреобразователя сопротивления Метран-206 с пределом измерения от –200 до 500 °С.

Также ко второму патрубку подключена система вакуумирования установки, включающая в себя колонку с химическим поглотителем известковым и цеолитом, предназначенным для нейтрализации фтористого водорода, и вакуумный насос.

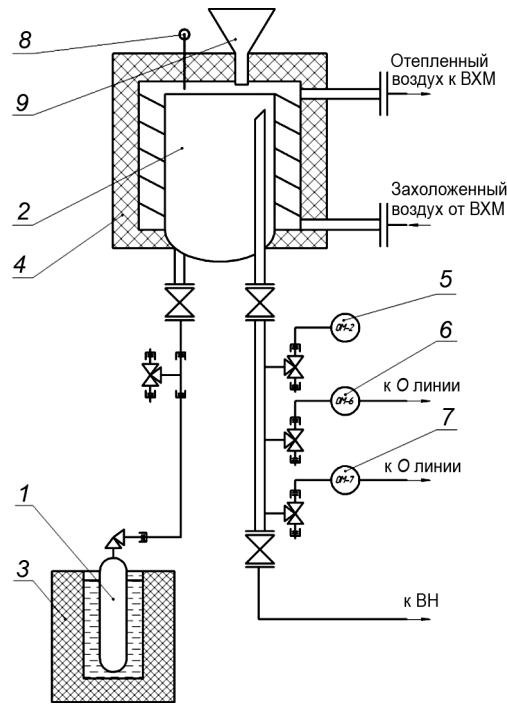


Рис. 1. Схема экспериментальной установки по измерению давления насыщенных паров фтористого водорода

Для проведения опыта использовали безводный фтористый водород марки «А», удовлетворяющий требованиям ГОСТ 14022-88, что соответствует содержанию основного вещества 99.9 мас. % и более. Фтористый водород поставлялся в специальной емкости объемом $V = 6$ л. Для переконденсации фтористого водорода в приемную емкость $V = 0.5$ л была изготовлена специальная схема, представленная на рис. 2. Схема состоит из приемной емкости $V = 0.5$ л 1, помещенной в специальный дьюар 4 для охлаждения жидким азотом. Емкость с фтористым водородом $V = 6$ л 2 помещена в сосуд 5 для охлаждения водой со льдом. Контроль температуры фтористого водорода при переконденсации проводился с помощью термометра 9. Клапан 10 исходной емкости 2 и клапан 6 приемной емкости 1 соединены медными трубками. Для регулировки потока фтористого водорода использовался расходомер-регулятор In-Flow фирмы Bronkhorst 3. Для проверки схемы переконденсации на вакуумную плотность, а также для ее прокачки при проведении пассивации использовался клапан 8. Клапан 7 в процессе переконденсации не участвовал и был заглушен.

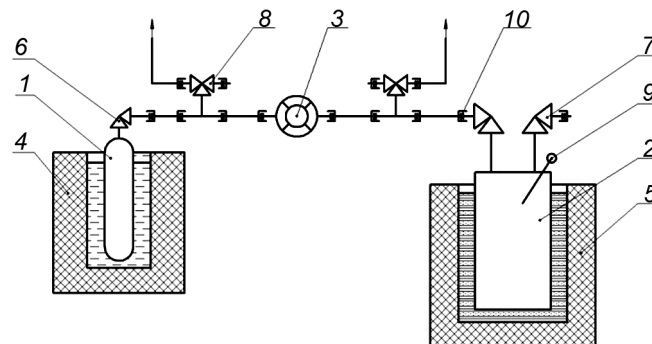


Рис. 2. Схема переконденсации фтористого водорода из емкости $V = 6$ л в емкость $V = 0.5$ л

Перед проведением переконденсации фтористого водорода емкость $V = 0.5$ л вместе с медными трубками при закрытом клапане 10 была прокачана до минимального давления. Для понижения давления фтористого водорода исходная емкость $V = 6$ л была охлаждена водой со льдом в течение 6 ч до температуры 0°C . Далее трехкратным напуском фтористого водорода через расхо-

домер-регулятор и откачкой в вакуумную систему, трубки и приемная емкость $V = 0.5$ л были пропассивированы. Приемную емкость $V = 0.5$ л охладили до температуры жидкого азота и прокачали в вакуумную систему до давления менее 50 мкм рт. ст. Схема переконденсации отсечена от системы вакуумирования клапаном 8. При открытии клапана 10 и подачей дозированного потока через расходомер-регулятор In-Flow приемная емкость $V = 0.5$ л заполнена фтористым водородом.

Емкость $V = 0.5$ л была подсоединена к экспериментальной установке. Емкость 24 л была вакуумирована до давления не более 50 мм рт. ст. и проверена на вакуумную плотность. Путем трехкратного напуска и откачки безводного фтористого водорода в установку были пропассивированы внутренние поверхности установки.

При проведении эксперимента по измерению давления насыщенных паров фтористого водорода в отсек охлаждения подавался холодный воздух с температурой 223 К от турбодетандерной воздушно-холодильной машины ВХМ 0.56/0.6. В заоложенный осадитель установки напускался безводный фтористый водород из емкости $V = 0.5$ л. После выдержки в течение часа фиксировалось давление в осадителе, температура холодного воздуха на входе и выходе из воздушно-холодильной машины ВХМ 0.56/0.6. Далее температура холодного воздуха ступенчато снижалась с шагом в 10 К и после выдержки в течение часа на каждой ступени фиксировалось давление в осадителе.

При проведении экспериментальных работ измерения давления насыщенных паров фтористого водорода в интервале температур от 93 до 223 К производились при охлаждении осадителя холодным воздухом. Для измерения давления насыщенных паров при температуре 77 К в отсек охлаждения через специальную горловину заливался жидкий азот.

Экспериментальная зависимость давления насыщенных паров безводного фтористого водорода в интервале температур от 77 до 223 К представлена на рис. 3.

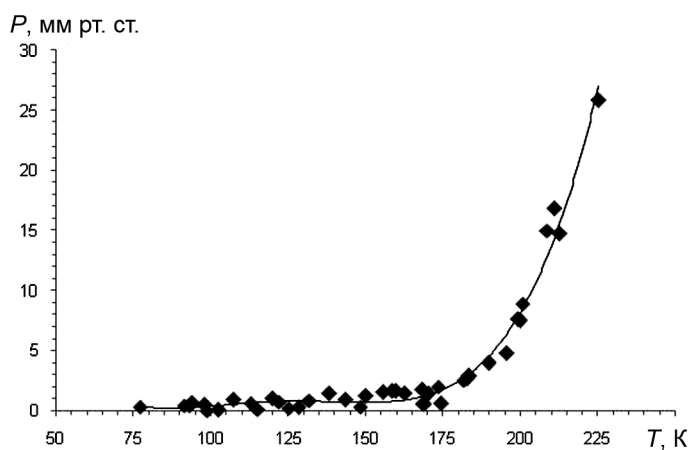


Рис. 3. Зависимость давления насыщенного пара безводного фтористого водорода от температуры

Для проведения работ по измерению давления безводного фтористого водорода в области низких температур была разработана и изготовлена экспериментальная установка. Для проведения переконденсации безводного фтористого водорода изготовлена специальная схема с применением расходомера-регулятора газа. Проведены работы по измерению давления насыщенных паров в области температур от 77 до 223 К. Результаты измерений показали работоспособность данной установки для проведения измерения давления упругости фтористого водорода. Также данная установка применима для измерения давления упругости паров других веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васенин И. М., Губанов С. М., Дурновцев М. И., Крайнов А. Ю., Чуканов М. В. Физико-математическое моделирование десублимации фтористого водорода из газовой смеси на стенке конденсатора // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2014. – № 5 (31). – С. 76–82.
2. Рысс И. Г. Химия фтора и его неорганических фторидов. – М.: Химия, 1956. – 719 с.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Поступила в редакцию 03.12.14.

**АО «Сибирский химический комбинат», г. Северск, Россия

E-mail: maxxd@inbox.ru; akrainov@ftf.tsu.ru; sgubanov@yandex.ru; chukanov2008@yandex.ru

Дурновцев Максим Иванович, аспирант;

Крайнов Алексей Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор каф. математической физики;

Губанов Сергей Михайлович, к.ф.-м.н.;

Чуканов Михаил Викторович, к.ф.-м.н.

UDC 533.59

*M.I. DURNOVTSEV, A.Yu. KRAINOV, S.M. GUBANOV, M.V. CHUKANOV***MEASURING THE PRESSURE OF SATURATED VAPOR OF HYDROGEN FLUORIDE
AT LOW TEMPERATURES**

The scheme by fractional distillation of the gas mixture used for the separation of uranium hexafluoride and hydrogen fluoride. To reduce refrigeration costs precipitating the possibility of using as a refrigerant, the cold air with a temperature of 113 K. The degree of trapping the hydrogen fluoride vapor pressure is determined at a temperature of the cooling wall precipitant. To measure the vapor pressure of anhydrous hydrogen fluoride in the temperature range from 77 to 223 K has been developed an experimental setup. Conducted experimental work to measure the saturated vapor pressure of hydrogen fluoride in the temperature range from 77 to 223 K.

Keywords: *desublimation, hydrogen fluoride, vapor pressure.*

REFERENCES

1. Vasenin I.M., Gubanov S.M., Durnovtsev M.I., Krainov A.Yu., and Chukanov M.V. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie desublimacii fluoristogo vodoroda iz gazovoj smesi na stenki kondensatora. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mexanika*, 2014, no. 5 (31), pp. 76–82.
2. Ryss I.G. *Khimiya flora i ego neorganicheskikh floridov*. Moscow, Khimiya Publ., 1956, 719 p. (in Russian)