

УДК 621.314

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОНТЕЙНЕРА АППАРАТУРНОГО С БЛОКОМ МНОГОКАДРОВОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ

© 2019 г. А. А. Рякин^{1,2,*}, О. В. Койнов^{1,2}, М. В. Никульшин^{1,2}

¹ Снежинский физико-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ", Снежинск, 456776, Россия

² Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, 456776, Россия

*e-mail: artemryakin@mail.ru

Поступила в редакцию 29.01.2019 г.

После доработки 29.03.2019 г.

Принята к публикации 09.04.2019 г.

В статье представлены результаты расчетных исследований температурных полей и полей скоростей воздуха внутри аппаратного контейнера. Цель работы: определение необходимого количества термоэлектрических кондиционеров OverFrost 40 и калорифера Schroff CR 027 для поддержания оптимального значения температуры воздуха внутри контейнера, при работе блока многокадровой системы регистрации линейного индукционного ускорителя электронов при отрицательных и положительных температурах окружающей среды. Расчетные исследования проводились в несколько этапов на трехмерной конечно-элементной модели, в газодинамическом модуле инженерной программы, реализующей метод конечных элементов. На первом этапе определялись температурные поля и поля скоростей воздуха внутри контейнера, для одного кондиционера и калорифера, расположенных на задней стенке внутри аппаратного контейнера. Расчеты проводились для режимов работы при отрицательной и положительной температуре внешней среды. На втором этапе определялось необходимое количество кондиционеров для достаточного охлаждения воздуха внутри контейнера до оптимального значения температуры на режиме работы блока при положительной температуре внешней среды. Результаты расчетных исследований показали, что при температуре среды минус 5°C применение шести кондиционеров и одного калорифера достаточно для поддержания температуры воздуха внутри объема служебного помещения $20 \pm 5^\circ\text{C}$. При работе с максимальной мощностью температура $20 \pm 5^\circ\text{C}$ будет достигнута через ≈ 5 минут. При работе блока, температура $20 \pm 5^\circ\text{C}$ поддерживается с помощью шести кондиционеров в течение 120 минут.

Ключевые слова: термоэлектрический нагреватель, калорифер температурное поле, поле скоростей

DOI: 10.1134/S2304487X19040096

Контейнер аппаратный предназначен для размещения регистрирующей аппаратуры и ее физической защиты и обеспечения требуемого температурного режима. Цель расчетных исследований: определение необходимого количества термоэлектрических кондиционеров Overfrost 40 и калориферов Schroff CR 027 для поддержания оптимального значения температуры воздуха внутри контейнера при работе блока многокадровой системы регистрации линейного индукционного ускорителя электронов при отрицательных и положительных температурах окружающей среды.

В аппаратном контейнере размещается многокадровая система регистрации для линейного

индукционного ускорителя электронов. Корпус АК представляет собой стальной ящик и выполнен в виде несущей рамы из стандартного металлопроката с приваренными к нему стальными листами.

Блок многокадровой системы регистрации устанавливается на закрепленный в стальной раме столик, рама крепится к корпусу АК на пружинных подвесках. МСР устанавливается параллельно измерительной оси таким образом, чтобы его центр совпадал с измерительной осью. Для уменьшения ударных воздействий между блоком и передней стенкой аппаратного контейнера предусмотрены амортизирующие прокладки.

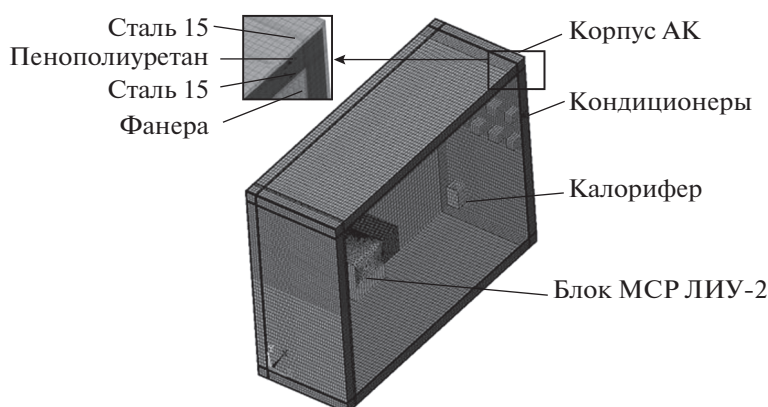


Рис. 1. Конечно-элементная модель аппаратного контейнера.

Для поддержания оптимальной рабочей температуры регистраторов (20 ± 5)°C контейнер аппаратный укомплектовывается термоэлектрическим кондиционером OverFrost 40 с датчиком температуры, обеспечивающим как охлаждение, так и обогрев объема аппаратного контейнера. Для нагрева также используется калорифер Schroff R 027. Калорифер и кондиционеры устанавливаются в задней части аппаратного контейнера.

Термоэлектрический кондиционер OverFrost представляет собой точечный источник для поддержания температуры -40 до $+60$ °C, осуществляющий теплообмен за счет различия значений температуры кондиционера и внутреннего объема воздуха.

Калорифер работает с постоянной скоростью обдува 1 м/с и значением температуры на нагревательном элементе до 150°С. Калорифер также может работать в режиме без нагрева воздуха.

Аппаратный контейнер используется в диапазоне температур наружного воздуха минус 5...30°С. Оптимальное значение температуры воздуха внутри аппаратного контейнера 20 ± 5 °С.

При работе в режиме с температурой наружного воздуха минус 5°С, с аппаратным контейнером производятся следующие действия:

1) При начальной температуре аппаратного контейнера минус 5°С начинается нагрев воздуха внутри контейнера до значения температуры 20 ± 5 °С. Нагрев производится с использованием калорифера Schroff CR 027 и кондиционера OverFrost 40;

2) При достижении значения температуры воздуха внутри служебного помещения 20°С происходит установка блока и извлечение калорифера;

3) Затем при помощи кондиционера производится нагрев воздуха внутри аппаратного контейнера до значения температуры 20 ± 5 °С;

4) При достижении необходимой температуры 20 ± 5 °С включается блок, обладающий тепловыделением 300 Вт. Далее при помощи кондиционера поддерживается значение температуры воздуха 20 ± 5 °С внутри контейнера аппаратного.

Время достижения значения температуры воздуха внутри аппаратного контейнера 20 ± 5 °С должно составлять не более двух часов. Время работы в режиме поддержания температуры 20 ± 5 °С должно составлять ≈ 4 часа.

Для расчетных исследований построена трехмерная конечно-элементная модель аппаратного контейнера. При подготовке конечно-элементной модели форма и конструкция калорифера и кондиционера, оптимизировались для получения ровной, регулярной конечно-элементной сетки.

Конструктивные элементы аппаратного контейнера моделировались твердотельным типом элемента. Для моделирования воздуха внутри контейнера использовался тип элемента, описывающий жидкие и газообразные среды.

На рис. 1 представлено изображение конечно-элементной модели аппаратного контейнера.

На задней стенке внутри контейнера располагаются термоэлектрические кондиционеры. На полу контейнера, вплотную к задней стенке, расположен калорифер. Нагревательной мощности калорифера Schroff CR 027 (350 Вт) достаточно для достижения необходимого значения температуры воздуха внутри контейнера при отрицательной температуре среды минус 5°С.

Для поддержания значения температуры воздуха 20 ± 5 °С внутри контейнера при работе блока предполагалось использовать один термоэлек-

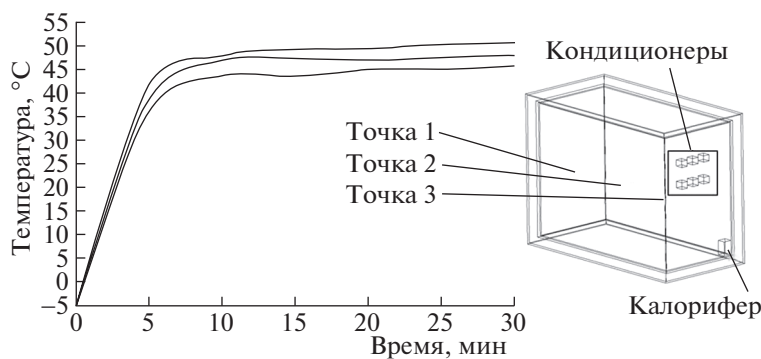


Рис. 2. Зависимость значения температуры ($^{\circ}\text{C}$) от времени для трех точек внутри воздушного объема при работе термоэлектрических кондиционеров и калорифера в режиме нагрева (температура среды минус 5°C).

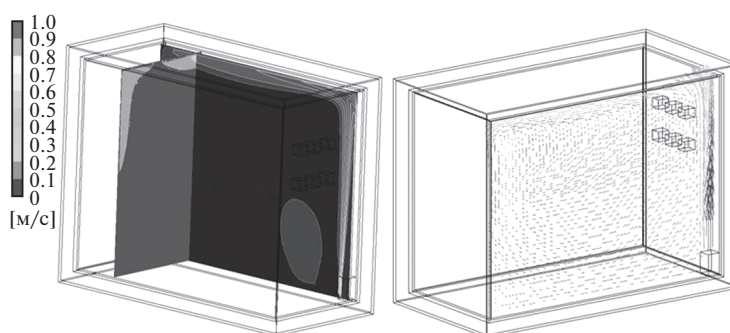


Рис. 3. Зависимость значения температуры ($^{\circ}\text{C}$) от времени для трех точек внутри воздушного объема при работе термоэлектрических кондиционеров и калорифера в режиме нагрева (температура среды минус 5°C).

трический кондиционер OverFrost 40, обладающий максимальной охлаждающей мощностью 93 Вт. Следует отметить, что блок выступает в качестве нагревательного элемента с мощностью тепловыделения 300 Вт, и скоростью потока воздуха 1.5 м/с . Термоэлектрический кондиционер мощностью 93 Вт является точечным источником температуры. Эти факты свидетельствуют о том, что для поддержания значения температуры воздуха $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ недостаточно одного термоэлектрического кондиционера, и было принято решение об увеличении количества кондиционеров до шести штук.

Для режима нагрева за начальную температуру контейнера и воздуха внутри него, а также температуры среды, окружающей контейнер, принималась постоянное значение, равное минус 5°C . На внешней поверхности аппаратурного контейнера коэффициент теплоотдачи принимался равным $15 \text{ Вт/м}^2\text{K}$.

На рис. 2 представлена зависимость значения температуры от времени для трех точек внутри воздушного объема при работе термоэлектриче-

ских кондиционеров (6 штук) и калорифера в режиме нагрева (температура среды минус 5°C).

При значении температуры среды минус 5°C , значение температуры 20°C достигается внутри служебного помещения контейнера аппаратурного РЭ1094 менее чем за 5 минут.

Представлено поле скоростей (рис. 3) и температурное поле (рис. 4) воздушного объема на момент времени 15 минут, в плоскостях проходящих через кондиционер и внутренний объем контейнера.

После достижения в воздушном объеме оптимального для работы блока значения температуры $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, из аппаратурного контейнера извлекается калорифер и устанавливается блок.

На рис. 5 представлена графическая зависимость температуры от времени для трех точек внутри воздушного объема при работе блока и шести термоэлектрических кондиционеров (температура среды -5°C).

При значении температуры среды минус 5°C температура $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ поддерживается внутри служебного помещения контейнера аппаратурного в

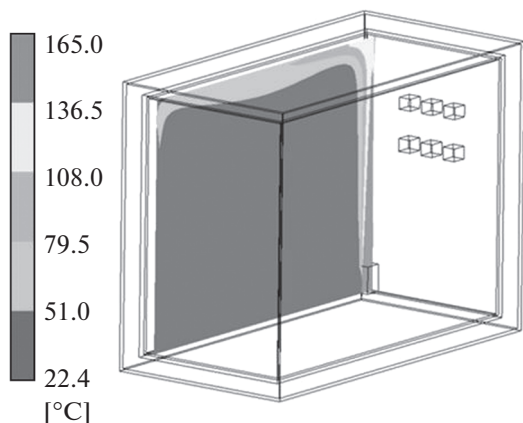


Рис. 4. Температурное поле ($^{\circ}\text{C}$) воздушного объема на момент времени 15 минут.

течение 165 минут при помощи шести термоэлектрических кондиционеров, работающих в режиме максимального охлаждения. Из представленной зависимости (рис. 5) следует, что в точке 1 (бли-

жайшей к блоку) спустя 4 часа от начала работы блока значение температуры воздуха внутри служебного помещения контейнера увеличивается не выше 28°C .

Представлено поле скоростей (рис. 6) и температурное поле (рис. 7) воздушного объема на момент времени 240 минут, в плоскостях, проходящих через кондиционер и внутренний объем контейнера.

Следует отметить, что температурное поле воздушного объема внутри служебного помещения контейнера аппаратного имеет неравномерный характер. Между блоком и передней стенкой аппаратного контейнера значение температуры воздуха достигает значения 34.3°C (рис. 7), в то время как вблизи кондиционеров значение температуры воздуха составляет минус 40°C .

Результаты расчетных исследований показали, что при температуре среды минус 5°C применение шести кондиционеров и одного калорифера достаточно для достижения значения температуры воздуха внутри объема служебного помещения $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$. При работе с максимальной мощно-

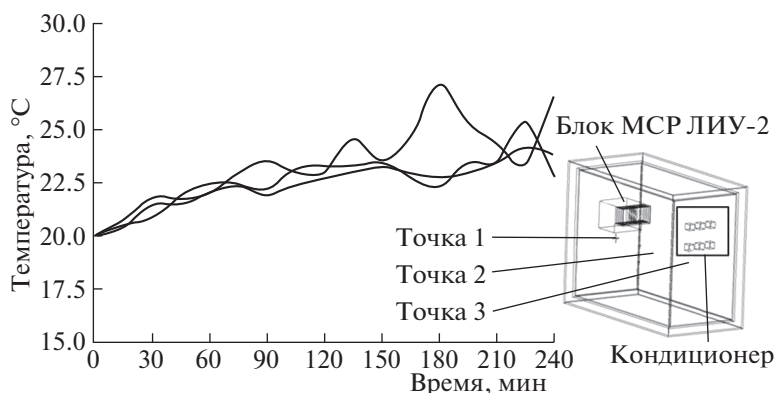


Рис. 5. Зависимость значения температуры ($^{\circ}\text{C}$) от времени для трех точек внутри воздушного объема при работе блока МСР ЛИУ-2 и шести термоэлектрических кондиционеров (температура среды минус 5°C).

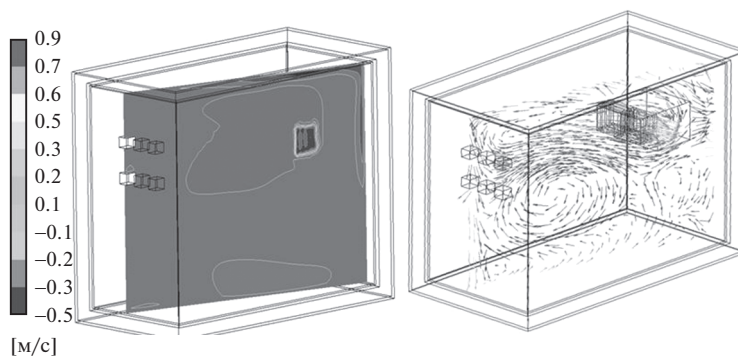


Рис. 6. Поле скоростей (м/с) воздушного объема на момент времени 240 минут (температура среды минус 5°C).

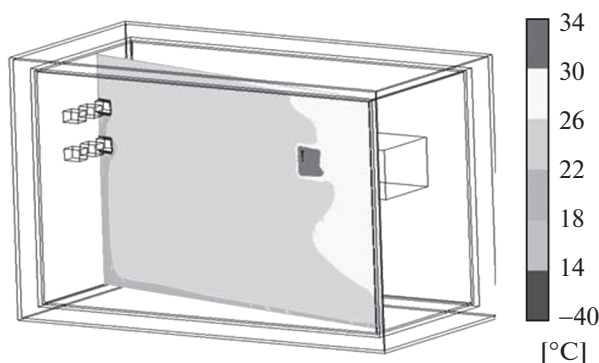


Рис. 7. Температурное поле ($^{\circ}\text{C}$) воздушного объема на момент времени 240 минут (температура среды минус 5°C).

стью температура $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ будет достигнута через ≈ 5 минут. При работе блока, температура $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ поддерживается с помощью шести кондиционеров в течение 120 минут.

Таким образом, для поддержания необходимого значения температуры $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, достаточно использовать шесть термоэлектрических кондиционеров OverFrost 40 и один калорифер Schroff CR 027.

Vestnik Natsional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta "MIFI", 2019, vol. 8, no. 5, pp. 397–401

Thermal Analysis of an Instrumentation Container for a Multi-Frame Recording System in a Linear Induction Accelerator of Electrons

A. A. Ryakin^{a,b,#}, O. V. Koinov^{a,b}, and M. V. Nikulshin^{a,b}

^a Snezhinsk Physics and technology Institute, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Snezhinsk, 456776 Russia

^b National Russian Federal Nuclear Centre All-Russian Scientific Research Institute of Technical Physics named after E.I. Zababakhin, Snezhinsk, 456776 Russia

[#]e-mail: artemryakin@mail.ru

Received January 19, 2019; revised March 29, 2019; accepted April 9, 2019

Abstract—Both temperature and air-velocity fields inside the instrumentation container have been calculated and results of these computational studies have been presented. The aim of this work is to determine the number of OverFrost 40 thermoelectric air conditioners and Schroff CR 027 air heaters needed to maintain the optimal air temperatures inside the container when the multi-frame recording system in the linear induction accelerator of electrons operates under the conditions of negative and positive ambient temperatures. Calculations have been carried out in several stages in the 3D finite element model, in the gas-dynamic module of the engineering program that implements the finite element method.

The temperature and air-velocity fields inside the container for one air conditioner and one heater, both located at the rear wall inside the instrumentation container have been determined in the first stage. Calculations have been performed for operational conditions of positive and negative ambient temperatures.

The number of conditioners needed to ensure the sufficient cooling of air inside the container down to the optimal temperature in the positive temperature operational environment has been determined in the second stage. Results of settlement studies have shown that six conditioners and one heater are enough to maintain an air temperature of $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ in the office accommodation volume at an environment temperature of -5°C . At the operation with the maximum capacity, a temperature of $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ will be reached in about 5 min. At the block operation, a temperature of $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ is supported by means of six conditioners during 120 min.

Keywords: thermoelectric air conditioners, heater, velocity fields, temperature fields

DOI: 10.1134/S2304487X19040096