

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СИСТЕМ СКИ «АГАТ» ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДО 500 °С

Михаил Владов¹, Дмитрий Добров¹, Петр Гецов², Георги Сотиров²

¹*Молдова. г. Кишинев*

e-mail: office@comelpro.com

²*Институт космических исследований и технологий – Болгарская академия наук*

e-mail: office@space.bas.bg

***Ключевые слова:** система контрольного измерения, система принудительного охлаждения*

***Резюме:** В работе представлены результаты экспериментальных исследований температурного режима работы систем контрольно-измерительных СКИ «Агат» с системой принудительного охлаждения при температуре окружающей среды до 500°С.*

EXPERIMENTAL RESEARCH RESULTS FOR AGAT CONTROL MEASUREMENT SYSTEMS AT AN ENVIRONMENTAL TEMPERATURE OF UP TO 500°C

Michail Vladov¹, Dmitrii Dobrov¹, Petar Getsov², Georgi Sotirov²

¹*“Comelpro” SRL, Chisinau, Moldova,*

e-mail: office@comelpro.com

²*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*

e-mail: office@space.bas.bg

***Keywords:** control measurement systems, maintenance and repair service, manufacturability*

***Abstract:** This paper presents experimental researches of Agat control measurement systems at an environmental temperature of up to 500 °C with a system of compulsory air cooling.*

Введение

Главной целью настоящей работы является экспериментальные исследования температурного режима работы систем контрольно-измерительных СКИ «Агат» с системой принудительного охлаждения при температуре окружающей среды до 500°С.

Эта работа проводилась в дополнении к экспериментальным работам, проводимым в декабре 2012 года по проверке работоспособности СКИ «Агат» при рабочей температуре до 350 °С [1]. Внешний вид и характеристики семейства СКИ «Агат» подробно изложены в [2-3]. Для проведения экспериментальных исследований была выбрана СКИ «Агат- 222», которая позволила создать простой термокожух в виде цилиндра. Внешний вид СКИ «Агат- 222» и конструкции термокожуха представлены на рисунках 1 и 2. В качестве термоизоляции использовали листовой асбест толщиной 5 мм. Температурные датчики размещались на внешней поверхности СКИ «Агат-222» в 2-х местах.



Рис. 1. Внешний вид систем СКИ «АГАТ-222»

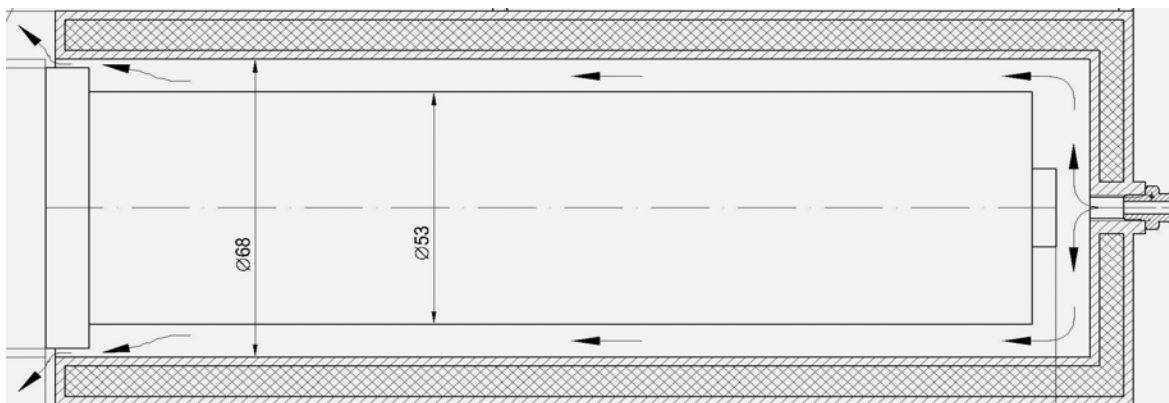


Рис. 2. Внешний вид конструкции термокожуха для СКИ «Агат-222»

Экспериментальные исследования температурных режимов работы СКИ «Агат» проводилась при давлениях охлаждающего воздуха от 4 до 6 атмосфер и его температуре от 18 °С до 20 °С, которая зависела от температуры окружающей среды в это время года: с 2 по 3 и 7-го мая 2013 года. Для имитации температуры окружающей среды до 500°С использовался сушильный электрошкаф СНОЛ-3,5, который позволяет воспроизводить температуры внутри камеры до 350 °С, автоматически регулировать и поддерживать заданную температуру, кроме того для поднятия температуры внутри шкафа до 500 °С дополнительно внутри рабочей камеры установили воздушный трубчатый электронагреватель (ТЭН) на 2.5 кВт с системой автоматического регулирования позволяющей регулировать температуру внутри камеры до 500 °С. На рис.3 представлено фото сушильного электрошкафа СНОЛ-3,5 с установленными ТЭН на 2.5 кВт и СКИ «Агат-222» к которому подведена штатная система воздушного охлаждения от компрессорной станции предприятия.



Рис. 3. Фото камеры сушильного электрошкафа СНОЛ-3,5 с установленными ТЭН на 2.5 кВт и СКИ «Агат-222»

На рис. 4 представлена фотография сушильного шкафа с цифровым индикатором температуры внутри СКИ «Агат» (вверху снимка, показания температуры 50 °С) и блок цифрового регулирования температуры внутри камеры (показания температуры 500 °С)

На рис.5 представлены графики зависимости температуры внутри СКИ «Агат-222» при разных давлениях охлаждающего воздуха, термокожух с 1-м слоем асбеста толщиной 5мм, а температура охлаждающего воздуха в это время года составила 19-20 °С.

Эксперимент показал, что при давлении охлаждающего воздуха в 4 атм. равновесная температура внутри СКИ «Агат-222» устанавливается выше 100 °С. При давлении охлаждающего воздуха в 5 атм. равновесная температура внутри СКИ «Агат-222»

установилась около 64°C. При давлении охлаждающего воздуха в 6 атм. равновесная температура внутри СКИ «Агат-222» установилась около 51°C.

Для слоя изоляции толщиной в 5 мм и давлении охлаждающего воздуха в 4 атм. равновесная температура внутри СКИ «Агат-222» устанавливается выше 100 °С, т.е можно сделать вывод, что при использовании микросхем промышленного назначения, давление охлаждающего воздуха должно быть больше 4 атмосфер.



Рис. 4. Фотография сушильного шкафа с цифровым индикатором температуры внутри СКИ «Агат» (вверху снимка, показания температуры 50 °С) и блок цифрового регулирования температуры внутри камеры (показания температуры 500 °С)

На рис. 6 представлены графики зависимости температуры внешней поверхности СКИ «Агат-222» при разных давлениях охлаждающего воздуха, термокожух с 2-мя слоями асбеста с суммарной толщиной в 10мм.

Испытания 2 и 3 мая 13г.1 слой термоизоляции-5мм. температура внутри камеры 500 град С

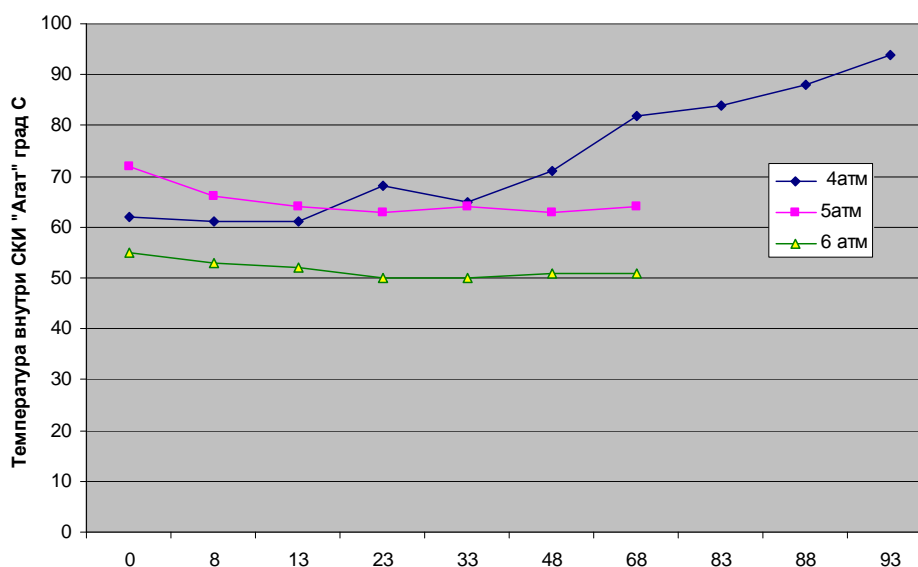


Рис. 5. Графики зависимости температуры внутри СКИ «Агат-222» при разных давлениях охлаждающего воздуха. Термоизоляция 1 слой асбеста -5 мм

На графиках рис. 6 показаны температура внутри СКИ «Агат-222» в зависимости от давления охлаждающего воздуха в 4, 5 и 6 атмосфер, термоизоляционный слой изоляции толщиной в 10мм, температура охлаждающего воздуха в это время года составила 19-20 °С.

Эксперимент показал, что при давлении охлаждающего воздуха в 4 атм. равновесная температура внутри СКИ «Агат-222» установилась около 50 °С. При давлении охлаждающего воздуха в 5 атм. равновесная температура внутри СКИ «Агат-222» установилась около 46°С. При давлении охлаждающего воздуха в 6 атм. равновесная температура внутри СКИ «Агат-222» установилась около 40°С.

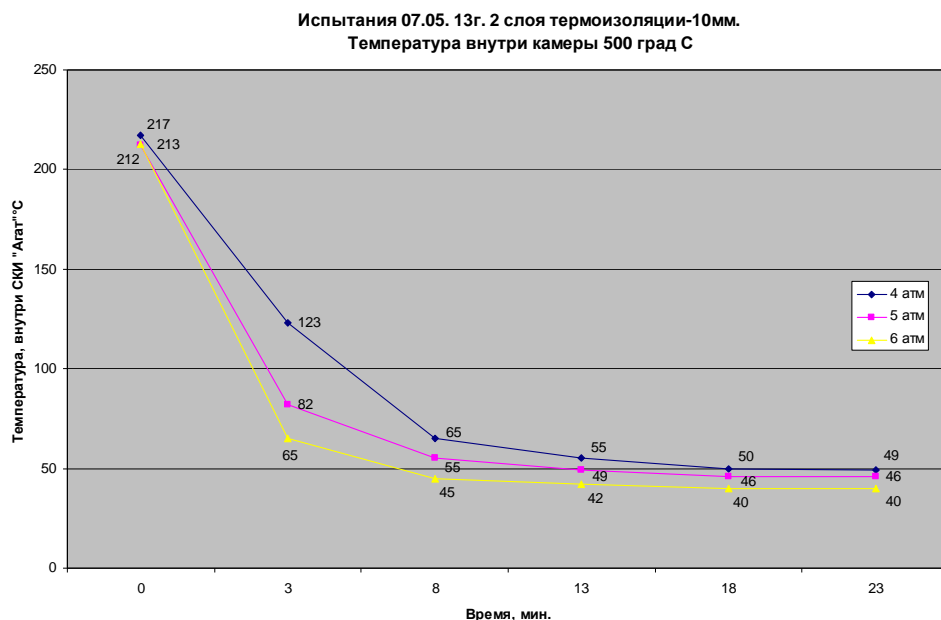


Рис. 6. Графики зависимости температуры внутри СКИ «Агат-222» при разных давлениях охлаждающего воздуха

Компьютерное моделирование тепловых процессов СКИ «Агат-222» было проведено с использованием среды rdetool программы Matlab, где краевую задачу теплопроводности определяли на основе известного распределения температуры в момент времени t и описываемого параболическим уравнением (1):

$$(1) \quad \rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(k \cdot \text{grad}(T)) = Q + h \cdot (T_{\text{ext}} - T),$$

где ρ – плотность среды, c – удельная теплоемкость среды, k – теплопроводность среды, T – температура границы расчётной области, Q – количество тепло полученное от внутренних источников, h - коэффициент конвективного или кондуктивного теплообмена расчётной области с окружающей средой, T_{ext} – температура окружающей среды при бесконечном удалении от расчётной области.

Сходимость результатов компьютерного моделирования с экспериментальными данными оказалась в пределах 5-8% погрешности.

Выводы:

1. Для слоя изоляции толщиной в 5 мм и давлении в 4 атм. равновесная температура внутри СКИ «Агат-222» устанавливается выше 100 °С, т.е можно сделать вывод, что при использовании микросхем промышленного назначения, давление охлаждающего воздуха должно быть больше 4 атмосфер.

2. Проведенные экспериментальные исследования СКИ «Агат-222» подтвердили возможность работы имеющихся СКИ «Агат» при рабочей температуре окружающей среды до 500 °С с обычными покупными элементами работающими при температурах до +80 °С, при условии обязательного воздушного охлаждения с давлением охлаждающего воздуха в 5- 6 атм, при этом температура корпуса СКИ «Агат» будет:

- для слоя изоляции толщиной в 5 мм в пределах от 65 °С до 45 °С;
- для слоя изоляции толщиной в 10 мм в пределах от 50 °С до 40 °С.

3. Сходимость результатов компьютерного моделирования с экспериментальными данными оказалась в пределах 5-8% погрешности.

Литература:

1. Michail, V., G. Sotirov, V. Kantser. Experimental research results of control measurement systems "AGAT" at the environmental temperature to 350 °С. Moldavian Journal of the Physical Sciences № 2, 2013, ISSN 1810-648X, pp. 291-296
2. Владов, М., Д. Добров. Обзор контрольно-измерительных систем ООО «COMELPRO» для двигателестроительных предприятий РФ. Труды шестой научной конференции с международным участием „Космос, экология, нанотехнологии, безопасность" SENS 2010, София, 2-4 ноября 2010г.
3. Владов, М., Д. Добров. Обзор контрольно-измерительных систем ООО «COMELPRO» для двигателестроительных предприятий РФ. III международная научно - техническая конференция "АВИАДВИГАТЕЛИ XXI ВЕКА". ЦИАМ 30.11.10 - 3.12.10, Москва, ЦИАМ