

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ПОДОГРЕВА ПРИЕМНИКА РАДИОЛОКАЦИОННОГО МОДУЛЯ

© 2016 г. Н.К. ПРИСТУПЧИК, И.В. КУЛИКОВА

АО «Научно-производственное предприятие «Исток» им. А.И. Шокина», г. Фрязино
e-mail: nikita.pristupchik@gmail.com

Введение

Принятая в 2013 г. стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации определяет ряд приоритетных направлений, включая создание современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры, а также обеспечение военной безопасности, защиты и охраны государственной границы Российской Федерации в Арктике [1]. В связи с этим обеспечение работоспособности существующей электронной компонентной базы радиотехнических и радиолокационных систем в условиях экстремально низких температур (порядка -70°C) представляет собой актуальную научно-техническую задачу, имеющую большое практическое значение. Аналогичной проблемой является обеспечение работоспособности бортовой электроники космических аппаратов в ходе межпланетных перелетов [2].

Цели и задачи

Целью настоящей работы является выбор одной из двух систем подогрева серийно выпускаемого приемника (разработка АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина»), входящего в состав существующего радиолокационного модуля. В корпусе радиолокационного модуля приемник закреплен с помощью кронштейна.

Основные требования, предъявляемые к системе подогрева таковы:

- система должна обеспечить прогрев холодного приемника (температура всех элементов конструкции соответствует температуре окружающей среды – -70°C), до температуры включения (нижний порог диапазона рабочих температур блока – -40°C) за время, не превышающее 40 минут;
- система должна быть построена на базе стандартных компонентов, патронных нагревателей (ПН).

В качестве дополнительного требования можно отметить сведение к минимуму конструктивных изменений приемника, обусловленных внедрением системы подогрева.

Разработчиками приемника были предложены две модификации существующей конструкции (первая – с измененным корпусом; вторая – с измененным кронштейном). На рис. 1 представлена конструкция с измененным корпусом (верхняя крышка не показана). Для ускорения расчетов из модели были удалены экземпляры мелких деталей. Циклотронные защитные устройства (ЦЗУ) и их источник питания считаются цельнометаллическими. Материал ЦЗУ – медь. Остальные элементы считаются изготовленными из дюралюминия. Материал ПН – сталь 12X18H10T. В расчетах были использованы параметры зарубежного аналога стали 12X18H10T – нержавеющая сталь AISI 321.

ПН размещены в глухих отверстиях, высверленных в основании корпуса, их размеры (длина – 60 мм, диаметр – 6,5 мм). На рис. 2 показан разрез корпуса, на котором видны нагреватели.

Основные параметры ПН приведены в табл. 1. Наибольшая мощность P_{max} , рассеиваемая ПН, определяется по формуле:

$$P_{max} = \pi \cdot d \cdot (L - L_{п1} - L_{п2}) \cdot W_{max}, \quad (1)$$

где d – диаметр нагревателя; L – длина нагревателя; $L_{п1}, L_{п2}$ – длины неактивных поверхностей (для рассматриваемых в работе ПН $L_{п1} = L_{п2} = 7$ мм).

Таблица 1

Основные параметры ПН

Наименование параметра	Значение	Единицы измерения
Максимальная удельная мощность, W_{max}	≤ 15	Вт/см ²
Температура на активной поверхности, T_{max}	≤ 650	°С
Отклонение мощности от номинальной, δ_p	± 10	%

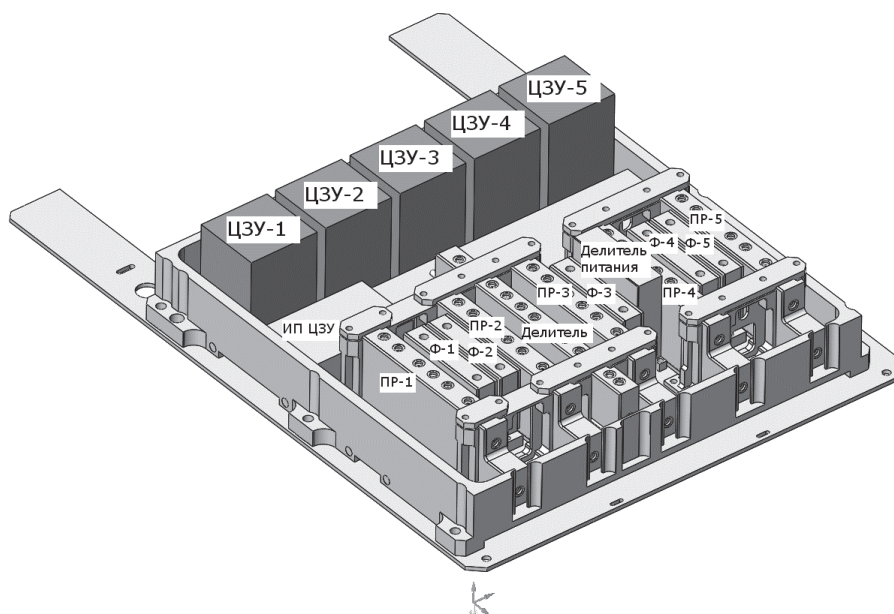


Рис. 1. Конструкция с измененным корпусом.

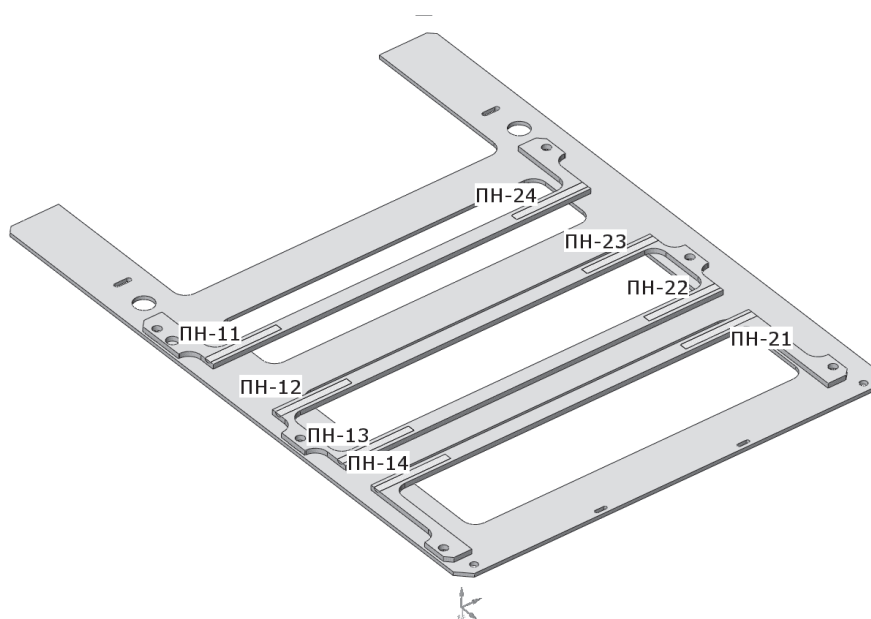


Рис. 2. Разрез основания корпуса и патронные нагреватели.

На рис. 3 представлена конструкция с измененным кронштейном (показан разрез кронштейна). Нумерация блоков и ПН сохранена. Конструкционные параметры нагревателей (длина – 150 мм, диаметр – 8 мм).

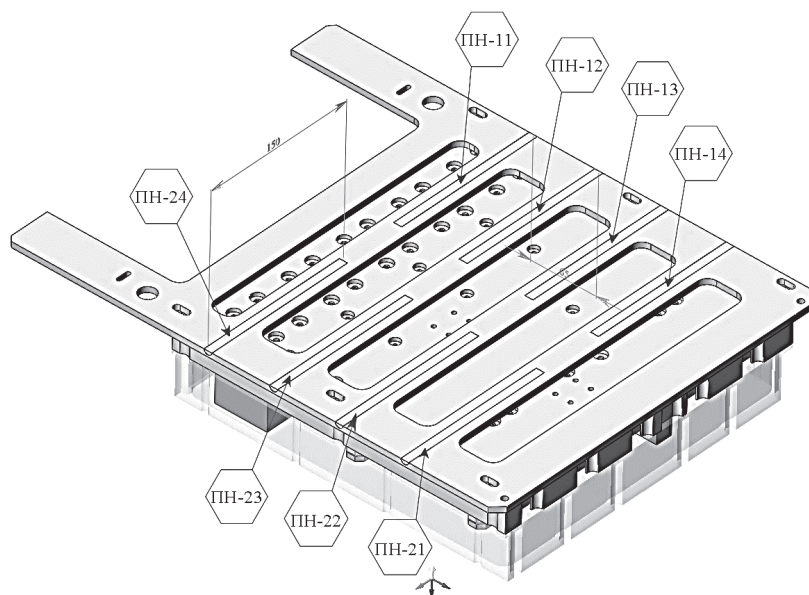


Рис. 3. Конструкция с измененным кронштейном.

Методика

Для моделирования процессов тепло- и массопереноса [3, 4] в корпусе устройства и окружающем его пространстве используется стандартное программное обеспечение, реализующее метод контрольных объемов.

Предполагается, что все нагреватели включаются мгновенно и одновременно, т.е. мощность, рассеиваемая нагревателем не меняется во времени и равна заданной в начальный момент. Максимальная мощность, которую может рассеять нагреватель заданных размеров определяется уравнением (1). Температура конструкции и окружающего воздуха в начальный момент времени равны $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Предварительный численный расчет показал, что наиболее холодными являются: блок «ЦЗУ-3» и «Делитель питания» (их верхние поверхности). Таким образом, мониторинг средних температур этих поверхностей позволяет установить минимальное время прогрева для различных значений тепловыделения ПН.

Наиболее горячими являются преобразователи ПР-1 и ПР-5, поэтому мониторинг максимальной температуры нижних поверхностей, расположенных ближе всего к источникам тепла, позволяет установить максимально допустимое время прогрева.

Было отмечено, что нагреватели ПН-13 и ПН-22 (конструкция с измененным корпусом) оказываются заметно перегретыми, поэтому было решено провести дополнительные расчеты без них (сокращенная модель).

Для того чтобы определить минимально допустимую мощность нагревателя, обеспечивающего решение поставленной задачи, были выполнены дополнительные расчеты, в которых тепловыделение ПН последовательно уменьшалось в геометрической прогрессии.

Результаты

Основным результатом теплового расчета является интервал прогрева конструкции, определяемый мощностью нагревателей. Нижняя граница этого интервала (t_{\min}) соответствует полному прогреву (средняя температура поверхности больше или равна $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) самого холодного блока (ЦЗУ-3, сверху), а верхняя граница (t_{\max}) определяется перегревом (максимальная температура поверхности больше или равна $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$) основания самого горячего блока сборки (ПР-1, снизу). Кроме того, интерес

представляет интегральный перепад температур (ΔT) между этими референтными поверхностями. Результаты, полученные для конструкций с измененным корпусом и кронштейном, представлены в табл. 2 и табл. 3, соответственно.

Таблица 2

Конструкция с измененным корпусом

Мощность ПН, Вт	$t_{\min}^p - t_{\max}^p$, МИН (полная)	$\Delta T_{\min}^p - \Delta T_{\max}^p$, °С (полная)	$t_{\min}^c - t_{\max}^c$, МИН (сокращенная)	$\Delta T_{\min}^c - \Delta T_{\max}^c$, °С (сокращенная)
155	8,3–16	60,9–60,2	9,2–29,8	38,5–29,4
141	8,7–18	56,5–53,2	9,9–30,3	40,0–31,4
127	9,4–22	50,7–48,7	10,8–40	31,3–21,5
70	14,8–40	29,1–23,7	18–40	16,3–12,9
35	27,6–40	14,4–13,7	35,7–40	6,9–6,8

Таблица 3

Конструкция с измененным кронштейном

Мощность ПН, Вт	$t_{\min}^k - t_{\max}^k$, МИН	$\Delta T_{\min}^k - \Delta T_{\max}^k$, °С
512	3–5	66.6–77.1
256	5–12	40.2–43.1
128	9–30	22,7–20
64	16–40	11,9–9,7
32	32–40	5,6–5,1

Заключение

Анализ полученных результатов моделирования рассмотренных систем подогрева позволяет сделать следующие выводы:

- использование коротких нагревателей, размещенных в измененном корпусе устройства не предоставляет преимуществ ни по скорости, ни по равномерности прогрева, поэтому конструкция с измененным кронштейном является предпочтительной ввиду отсутствия необходимости внесения изменений в блок приемника;

- рекомендуется ограничить значение максимальной мощности ПН уровнем 256 Вт, минимальное время прогрева при этом составляет порядка 5 мин., но не должно превышать 12 мин.;

- ввиду наличия максимально допустимого времени прогрева, целесообразно использовать нагреватели, оснащенные термодатчиками, а также предусмотреть систему автоматического отключения;

- необходимо исследовать влияние болтовых соединений кронштейн–корпус на интервалы прогрева и перепады температур в корпусе устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года (от 20 февраля 2013 г.) // URL: m.government.ru/info/18360/
2. *Khalkhali H., Gombosov M., Hannifin P.* Electronics Warming and Optimization Study Subject to Low Temperature Environments // 8th Electronics Packaging Technology Conference Proceedings. – 2006, p. 340–345.
3. *Куликова И.А., Приступчик Н.К., Галдецкий А.В., Симонов К.Г., Новоселец В.И., Зырин С.С., Погорелова Э.В., Силин Р.А.* Методика построения и расчета воздушной системы охлаждения специализированного СВЧ блока // Электронная техника, Сер. 1. СВЧ-техника. – 2016. – Вып. 1 (528), с. 70–74.
4. *Приступчик Н.К., Куликова И.В., Галдецкий А.В., Симонов К.Г., Куприянов П.В., Погорелова Э.В., Уласюк В.Н., Зырин С.С.* Моделирование тепловых режимов работы приемно-передающего модуля малогабаритной активной фазированной антенной решетки // Электронная техника, Сер. 1. СВЧ-техника. – 2016. – Вып. 1 (528), с. 86–94.