

К. т. н. В. И. ГНИЛИЧЕНКО, к. т. н. С. П. ТКАЧЕВ,
к. т. н. В. Б. ТКАЧЕНКО

Украина, г. Одесса, НИИ "Шторм",
Гос. политехнический ун-т, ОАО "Нептун"

Дата поступления в редакцию

12.04—03.11 2000 г.

Оппонент к. т. н. Ю. Е. НИКОЛАЕНКО

ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ОХЛАЖДЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

Проведены макетирование и экспериментальные исследования тепловых режимов систем вторичного электропитания с применением различных способов охлаждения.

Унифицированные источники вторичного электропитания (ИВЭП) в корпусном исполнении типа ПНС-20, ПНС-50 позволяют путем объединения модулей создавать системы вторичного электропитания (СВЭП) вычислительных машин с требуемым сочетанием выходного напряжения и тока [1]. Требуемые технические характеристики и показатели надежности ИВЭП, независимо от условий эксплуатации и конструктивного исполнения изделия, обеспечиваются при температуре корпуса модуля в зоне установки дискретных электрорадиоэлементов не выше 75°C [2].

Обеспечение теплового режима таких изделий зависит от эффективности системы охлаждения, вида теплообмена с окружающей средой, температуры среды и принятого конструктивного исполнения СВЭП в составе вычислительной машины [3].

В вычислительных машинах СВЭП из модулей ИВЭП используются в двух характерных случаях.

1. СВЭП совместно с другими тепловыделяющими элементами, расположенными на платах, устанавливается в герметичном контейнере, отвод теплового потока от которого осуществляется при естественной конвекции.

2. СВЭП устанавливается на плате типового элемента замены (ТЭЗ), охлаждаемого потоком воздуха в режиме вынужденной конвекции. При коэффициенте полезного действия модулей 70% их удельные массогабаритные показатели, представленные отношением выходной мощности к объему (ρ_V) или массе (ρ_m), составляют для ПНС-50 $\rho_V=170$ Вт/дм³, $\rho_m=150$ Вт/кг и для ПНС-20 $\rho_V=100$ Вт/дм³, $\rho_m=100$ Вт/кг. Суммарный тепловой поток, выделяемый дискретными элементами РЭА, расположенными в корпусах модулей ПНС-50 и ПНС-20, составляет 20 и 9 Вт, соответственно.

Расчетная оценка теплового режима модулей ИВЭП в составе таких СВЭП представляет сложную и трудоемкую задачу. Ее решение ограничено возможностями обоснованного выбора допущений при составлении тепловой схемы и моделировании

тепловых процессов. Поэтому целесообразно провести макетирование типовых вариантов СВЭП, и в составе конструкций, максимально приближенных к реальным изделиям, оценить эффективность систем обеспечения тепловых режимов. В функциональных макетах СВЭП такую оценку можно выполнить на основании эксперимента, используя взаимосвязь между надежной работой СВЭП и тепловым режимом.

Макетирование и экспериментальные исследования теплового режима модулей ПНС-20 при их установке в герметичном контейнере

Для экспериментальных исследований теплового режима модулей были изготовлены макет контейнера, два макета модуля ПНС-20 и имитатор тепловыделяющих элементов, установленных на платах.

Макеты модуля ПНС-20 изготовлены на основе серийного корпуса модуля ПНС-20 (шасси и крышки). На основании и боковых стенках шасси устанавливались имитаторы электрорадиоэлементов модуля – трансформатора (3 Вт), микросхемы 286ЕП2 (3 Вт), диодов КД213А (2 и 1 Вт).

Имитатор тепловыделяющих элементов (омическое сопротивление из нихромовой проволоки $\varnothing 0,4$ мм, закрепленной в пазах стоек, изготовленных из стеклотекстолита СТЭФ-1) устанавливался на внутренней поверхности полукорпуса контейнера. Имитатор рассчитан на выделение 48,5 Вт тепла, причем его теплоемкость задано ниже теплоемкости элементов, установленных на платах реального изделия.

Макет контейнера представлял собой два одинаковых полукорпуса, изготовленных из алюминиевого листа толщиной 2 мм. При сборке полукорпусы соединялись по фланцам винтами. Модули ПНС-20 крепились через пасту КПТ-8 винтами на внутренней поверхности полукорпуса макета контейнера.

Обеспечение теплового режима СВЭП, как правило, сопряжено с ухудшением массогабаритных показателей. В связи с этим в конструкции макета предусмотрена возможность исследования различных способов охлаждения.

В исходном варианте компоновки макеты двух модулей ПНС-20 крепились на внутренней поверхности верхнего полукорпуса контейнера. Имитатор элементов, установленных на платах, располагался на основании нижнего полукорпуса.

Для снижения конвекции между тепловыделяющими элементами, расположенными на платах, и модулями

ИВЭП между полукорпусами контейнера устанавливалась теплоизолирующая перегородка из стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. В другом варианте компоновки модули ПНС-20 располагались в нижнем полукорпусе контейнера, а имитаторы элементов — в верхнем. Для улучшения теплоотвода между основанием шасси модулей ПНС-20 и стенкой полукорпуса контейнера устанавливались по две плоские тепловые трубы.

Варианты исследованных способов обеспечения теплового режима представлены в **таблице**. Здесь на рисунках обозначены: 1 — контейнер из двух полукорпусов; 2 — модули ПНС-20; 3 — имитаторы электрорадиоэлементов модулей ПНС-20; 4 — платы с имитаторами тепловыделяющих элементов; 5 — теплоизолирующая разделительная перегородка.

Целью испытаний являлось исследование изменения температуры основания шасси модуля ПНС-20 в зоне установки имитаторов электрорадиоэлементов в зависимости от времени в циклическом режиме работы — два включения по 340 с с перерывом в 30 с.

Исследования проводились при различных значениях теплового потока, выделяемого модулями ПНС-20 и имитаторами элементов (Q_3).

В стенде предусматривалась возможность подачи и изменения мощности по двум независимым каналам — для двух модулей ПНС-20 и имитатора элементов. Мощность измерялась ваттметрами типа Д5016/1 и Д5004, соответственно. Класс точности ваттметров 0,2.

Измерение температуры основания шасси в одиннадцати точках по каждому модулю и температуры окружающей среды производилось компенсационным самопишущим потенциометром КСП-4-023 класса точности 0,5. В качестве датчиков температуры использовались преобразователи термоэлектрические ТХКР-0,2-Ф/Х-3. Абсолютная погрешность измерения температуры $\pm 1,25^\circ\text{C}$.

Для питания всех имитаторов модулей ПНС-20 от одного источника в стенде применено согласующее устройство, состоящее из набора омических сопротивлений и размещаемое вне контейнера.

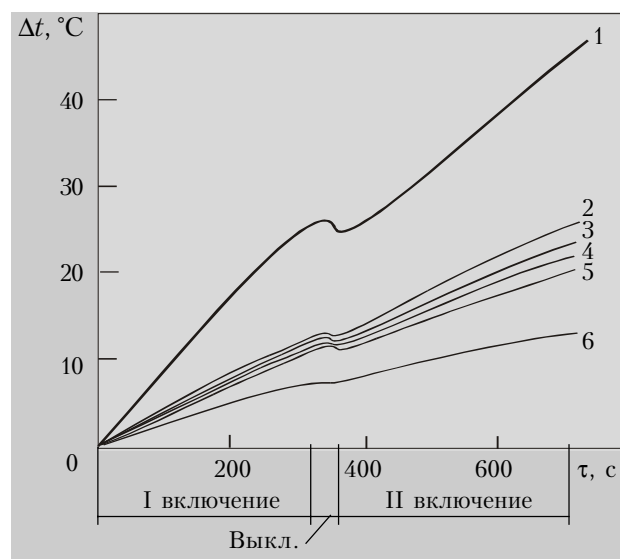
Сопротивление каждого имитатора перед установкой на шасси модуля ПНС-20 измерялось вольтметром В7-28. Мощность, выделяемая каждым имитатором, определялась измерением падения напряжения на имитаторе в рабочем состоянии вольтметром Щ304/2.

Эксперименты проводились по следующей методике: включались приборы КСП-4-023, регистрирующие температуру. После достижения равенства температуры имитаторов модулей ПНС-20 и температуры окружающей среды, одновременно с включением секундомера подавалась нагрузка на имитаторы модулей ПНС-20 и имитаторы элементов, расположенных на платах.

Первичной информацией при исследованиях были зависимости температуры корпуса модулей от времени. По ним определялась максимальная температура шасси модулей ПНС-20 и разность между ней и температурой охлаждающей среды — максимальный перегрев (Δt).

Результаты испытаний в виде конечных перегревов для различных способов обеспечения теплового режима и условий испытаний приведены в **таблице**.

На **рисунке** показаны временные зависимости максимального перегрева шасси модуля ПНС-20 (τ) при различном сочетании способов обеспечения теплового режима: 1 — исходный вариант без охлаждения; 2 — наличие в макете тепловых труб (ТТ) и перегородки; 3 — сочетание перегородки и размещения модулей ПНС-20 в нижнем полукорпусе; 4 — сочетание ТТ и размещения модулей ПНС-20 в нижнем полукорпусе; 5 — сочетание всех трех способов обеспечения теплового режима модулей ПНС-20; 6 — сочетание всех трех способов обеспечения тепловых режимов модулей ПНС-20 при $Q_3=0$.



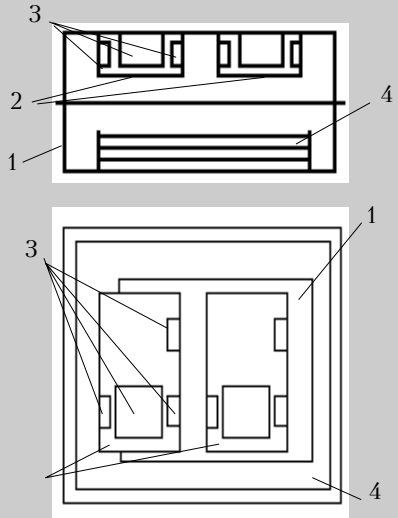
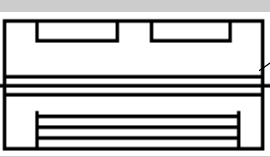

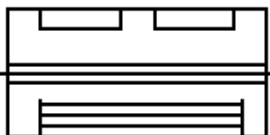
Исследования показали, что в исходном варианте компоновки при температуре охлаждающей среды 50°C перегрев превышает допустимое значение уже в конце первого рабочего включения. Применение любого из рассмотренных способов охлаждения в отдельности не может обеспечить заданный (75°C) тепловой режим модулей ПНС-20. Все попарные сочетания способов охлаждения значительно снижают конечный перегрев до уровня предельно допустимых значений, однако не дают значимого запаса. Только одновременная реализация всех рассмотренных способов обеспечения теплового режима (расположение модулей ПНС-20 в нижнем полукорпусе, имитаторов элементов на платах — в верхнем, установка теплоизолирующей перегородки и плоских тепловых труб) позволяет при температуре охлаждающей среды 50°C обеспечить тепловой режим модулей ИВЭП в составе СВЭП исследованной конструкции.

Макетирование и экспериментальное исследование выходных характеристик модулей ПНС с тепловыми трубами в составе ТЭЗ

Для экспериментальных исследований выбрана СВЭП вычислительной машины внешнего запоминающего устройства (ВЗУ) емкостью 6,3 Мб, сформированная из трех ИВЭП, как наиболее полно отвечающая требованиям к условиям управления ИВЭП и их техническим параметрам. Эта система позволяет исключить взаимное влияние выходов

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ АППАРАТУРЫ

Результаты исследований теплового режима модулей ПНС-20

Влияние компоновки	Тепловой поток		$\Delta t, ^\circ\text{C}$	
	$Q_T, \text{Вт}$	$Q_3, \text{Вт}$	без ТТ	с ТТ
	2×9	48,5	45,5	37,5
	2×9	0	18,0	17,0
	0	48,5	25,0	21,0
	2×9	29,5	33,0	27,0
	2×18	48,5	–	49,0
	2×9	48,5	29,0	25,0
	2×9	0	20,5	16,0
	0	48,5	11,5	10,0
	2×9	29,5	25,0	20,0
	2×9	48,5	26,0	22,0
	2×9	0	20,0	16,0
	0	48,5	6,5	7,0
	2×9	48,5	22,5	20,0
	2×9	0	20,5	13,0
	0	48,5	4,5	3,0

каждого ИВЭП и получить наименьшие пульсации выходных напряжений при условии обеспечения теплового режима.

Система электропитания, состоящая из двух модулей ПНС-50 и одного модуля ПНС-20, размещалась на плате типового элемента замены (ТЭЗ) размерами 170×280×32 мм. В качестве несущего элемента ТЭЗ использована алюминиевая плата толщиной 2 мм. Модули ИВЭП крепились основанием шасси к лицевой поверхности платы через пасту КПТ-8.

Для повышения эффективности теплоотвода использованы тепловые трубы. Плоская тепловая труба устанавливалась в углубление основания шасси каждого модуля ПНС-50 и зажималась винтами между основанием шасси и платой ТЭЗ через пасту КПТ-8.

Целью испытаний являлась проверка соответствия техническим требованиям электрических па-

раметров модулей ПНС в составе функционального макета СВЭП ВЗУ при использовании плоских тепловых труб в системе обеспечения теплового режима модулей ПНС-50.

Испытания проводились при температуре охлаждающей среды 20°С. Отвод теплового потока в окружающую среду осуществлялся при вынужденной конвекции воздуха.

В результате испытаний установлено, что выходные характеристики ИВЭП соответствуют предъявляемым техническим требованиям. При изменении напряжения питающей сети в диапазоне 22 – 34 В выходное напряжение и ток нагрузок для ПНС-50-5 составили 5 В и 10 А, для ПНС-20 – 5 В и 4 А и для ПНС-50-12 – 12 В и 4 А.

Суммарная нестабильность выходных напряжений не превысила 4%, среднеквадратические значения переменных составляющих выходных напряжений составили 1%, а амплитудные значения переменных составляющих выходных напряжений не превысили 50 мВ.

Соответствие выходных характеристик техническим требованиям, предъявляемым к функциональному макету СВЭП ВЗУ, отсутствие отказов и сбоев, вызываемых перегревом электрорадиоэлементов ИВЭП выше допустимых температур, свидетельствуют об эффективности использования тепловых труб

для обеспечения теплового режима модулей ПНС в составе ТЭЗ.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Кинеев Ю. П., Морозов А. А., Рыбак А. Л., Митягина Т. И. Состояние и перспективы развития источников вторичного электропитания // *Обзоры по электронной технике. Сер. 5.* – М. : ЦНИИ "Электроника", 1985. – Вып. 5. – С. 3–9.

2. Криницын В. Н., Левшин В. Н., Пороцкий С. М., Фатеев А. Е. Пути решения энергетической проблемы надежности УВК с учетом технико-экономических показателей // *Тез. докл. семинара «Надежность вычислительных систем».* – Севастополь. – 1982. – С. 12–14.

3. Гниличенко В. И., Ткачев С. П., Ткаченко В. Б. Источники вторичного электропитания с охлаждением на основе тепловых труб и термоэлектрических устройств // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре.* – 2000. – № 4. – С. 14–19.