**Разработка и создание экспериментальных образцов испарительной системы охлаждения для высокопроизводительных вычислительных процессоров и энергоэффективных светодиодных устройств**

Соглашение **№ 14.604.21.0053** в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014-2020 годы»

**Приоритетное направление**: «Информационно-телекоммуникационные системы (ИТ)»

**Период выполнения:** 30.06.2014- 31.12.2016

**Индустриальный партнер:** Общество с ограниченной ответственностью ["Сибирские энергосберегающие системы"](https://sstp.ru/fx/fcntp/ru.naumen.fcntp.components.jsp.metro.published_jsp?uuid=corebofs000080000kfbn7aplflb3k1c)

**Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

Проект направлен на разработку и создание двух экспериментальных образцов испарительных двухфазных систем охлаждения высокопроизводительных процессоров и мощных светодиодов с использованием принудительной и естественной циркуляций теплоносителя, теоретическое и экспериментальное исследование механизмов высокоэффективного отвода тепла от полупроводниковых структур.

В результате выполнения ПНИ будут разработаны и созданы две взаимодополняющие испарительные систем охлаждения с естественной и принудительной циркуляцией теплоносителя для мощных светодиодов и высокопроизводительных вычислительных процессоров.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 30.06.2014г. **№ 14.604.21.0053** с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 2 в период с 1.01.2015 г. по 30.06.2015 г. выполнялись следующие работы:

* Разработка теоретической модели системы охлаждения с естественной циркуляцией с учетом теплопроводности материала конденсатора и оптимизации внешнего радиатора.
* Разработка алгоритма математического моделирования теплопереноса в системе охлаждения мощного светодиода.
* Работа по программной реализации алгоритма.
* Численные расчеты теплообмена в системе охлаждения мощного светодиода.
* Разработка программной документации на пакет программ математического моделирования.
* Оплата подготовки и подачи заявок на патент.
* Участие в конференциях и семинарах для освещения и популяризации промежуточных результатов ПНИ.

При этом были получены следующие результаты:

В ходе выполнения 2 этапа проекта «Теоретические исследования*»* создана математическая модель теплообмена и гидродинамики при конденсации пара внутри трубы с продольными ребрами. Модель рассматривает конденсацию пара на двух первых участках течения – кольцевом и ручейковом. Модель позволяет предсказывать перепад давления по длине трубы, профили скорости пара в центральном канале и межреберной впадине, а также профиль скорости в ручье конденсата на дне межреберного канала, локальные коэффициенты теплоотдачи в различных точках ребра и средние коэффициенты теплоотдачи по сечению и по длине трубы. Расчеты, показали, что при конденсации пара в трубах относительно малого диаметра с продольными ребрами принципиальным является разделение проходного сечения трубы на центральный канал и межреберные каналы. Определяющие скорости пара в данных каналах могут различаться более чем на порядок. Приведенная скорость пара, используемая в инженерных расчетах, не отражает характер динамического воздействия пара на пленку конденсата на большей части теплообменной поверхности. Для труб с высокими ребрами при *hF>aF* предложенная модель практически полностью описывает конденсацию пара. В этом случае весовое паросодержание к моменту заполнения межреберных впадин достигает 0.01-0.05. Наибольшая интенсификация теплообмена получена для «острых ребер» с малым значением кривизны головки ребра. Выполнено сравнение результатов расчета по модели с результатами известных экспериментов при конденсации водяного пара. Для малых скоростей движения пара на входе в канал, (меньше 30 м/с), имеется удовлетворительное качественное и количественное согласие. Величина коэффициента теплопроводности стенки оказывает существенное значение на интенсивность конденсации.

В работах, проводимых в соответствии с План-графиком исполнения обязательств, показаны теоретические пути исследования конденсационной части системы охлаждения с естественной циркуляцией с учетом теплопроводности материала конденсатора, - сформулирована физическая модель, построена математическая модель, разработаны алгоритмы математического моделирования теплопереноса в системе охлаждения мощного светодиода, разработана соответствующая программная реализация.

Максимальная температура светодиода в зоне p-n-p перехода при использовании рассматриваемого охлаждающего устройства определяется выделяемой тепловой мощностью и температурой окружающего воздуха. Чтобы определить температуру светодиода нужно к температуре окружающего воздуха прибавить перепад температуры между воздухом и стенкой внешнего воздушного радиатора. Этот перепад температуры определяется площадью радиатора и коэффициентом конвективной теплоотдачи, величина которого зависит от интенсивности воздушного потока, создаваемого воздушным вентилятором. Далее необходимо добавить перепад температуры между внешней стенкой конденсатора и паром. Расчеты показали, что перепад температуры для вертикального оребренного конденсатора длиной 6 см при мощности 1 кВт составляет менее 20 градусов, что вполне приемлемо. Затем нужно к полученной температуре прибавить перепад температуры между паром и стенкой испарителя. Этот перепад температуры определяется коэффициентом теплоотдачи при кипении рабочей жидкости. В итоге температура светодиода в зоне p-n-p перехода . Добавляется еще перепад температуры в стенке светодиода, при этом все перепады температуры определяются одной для всех них тепловой мощностью. Для нормальной работы светодиодного устройства необходимо чтобы перепады температур были примерно одного порядка и в сумме не превышали допустимых значений. Слабым звеном здесь является теплообмен с окружающим воздухом в области внешнего воздушного радиатора. Одними из технических решений будет использование вынужденной конвекции с применением воздушного вентилятора, если экстенсивный способ решения проблемы за счет увеличения площади оребрения неприемлем, например по причине превышения габаритов системы.

Этап № 2 и весь 2015 год являются принципиально важными для выполнения проекта в целом. В результате работы, выполняемой за счет внебюджетных средств, предложено и обосновано новое техническое решение – термосифон со специальной камерой, предназначенной для накопления неконденсируемых примесей. В заявке на патент РФ «Интенсифицированная испарительная система охлаждения одиночного мощного светодиода», предложено новое техническое решение по интенсификации теплообмена при испарении за счет радиального оребрения. На этапе № 3 в соответствии с План-графиком исполнения обязательств будет выполнена экспериментальная проверка эффективности этого решения и определены оптимальные параметры радиального оребрения. Таким образом, к концу 2015 год будет завершена проработка и обоснование возможных технических решений. Предполагается, что все эти решения будут использованы при создании экспериментального образца испарительной системы охлаждения одиночного мощного светодиода с естественной циркуляцией теплоносителя.

Календарный план, утвержденный соглашением от 30.06.2014г. № 14.604.21.0053 по теме ПНИ «Разработка и создание экспериментальных образцов испарительной системы охлаждения для высокопроизводительных вычислительных процессоров и энергоэффективных светодиодных устройств», в части работ, выполняемые за счет внебюджетных средств по Этапу № 2 «Теоретические исследования*»*, выполнен полностью. Полученные результаты соответствуют требованиям к выполняемому проекту.