

УДК 519.876.5  
ГРНТИ 27.35.45

## ВЛИЯНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ТЕПЛОТВОДЯЩИХ РЕШЕНИЙ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЭРИ

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.4.74.754

*Светлаков В.А.,  
Меркушкин И.С.,  
Лавренов В.А.*

*Филиал АО «Ракетно-космический центр «Прогресс» - НПП «ОПТЭКС»  
124460, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Конструктора Гуськова, 8, стр. 2  
Тел.: +7 (499) 734-94-93*

### АННОТАЦИЯ

В современном мире как разработчики, так и инженеры все тщательнее подходят к исследованию и расчётам тепловых режимов работы электронных устройств. Это вынужденная мера, обусловленная тенденцией увеличения плотности компоновки электрорадиоизделий (ЭРИ) на печатных платах (ПП), уменьшения размеров с одновременным увеличением мощности, а также повышения общей сложности электронных устройств. Применение локальных топологических теплоотводящих решений (теплоотводящих отверстий) позволяет снизить температурные режимы работы ЭРИ, но требует использования подробной математической модели ПП в тепловых расчётах. В статье рассматривается использование такой модели и сравнение её с традиционным подходом.

### ABSTRACT

In the modern world, both developers and engineers are more and more carefully approaching the study and calculation of the thermal conditions of electronic devices. This is a necessary measure, due to the tendency to increase the density of the arrangement of electronic radio products (ERI) on printed circuit boards (PCBs), to reduce sizes while increasing power, and also to increase the overall complexity of electronic devices. The use of local topological heat sink solutions (heat sink holes) allows you to reduce the temperature conditions of the ERI, but requires the use of a detailed mathematical model of the PCB in thermal calculations. The article discusses the use of such a model and its comparison with the traditional approach.

**Ключевые слова:** печатная плата, тепловой расчёт, математическая модель.

**Key words:** printed circuit board, thermal analysis, mathematical model.

В современном мире как разработчики, так и инженеры все тщательнее подходят к исследованию и расчётам тепловых режимов работы электронных устройств. Это вынужденная мера, обусловленная тенденцией увеличения плотности компоновки электрорадиоизделий (ЭРИ) на печатных платах (ПП), уменьшения размеров с одновременным увеличением мощности ЭРИ, увеличения слоёв ПП, а также повышения общей сложности электронных блоков (в результате объединения функций).

Методика модульного проектирования широко применяется при разработке различных технических систем. Её основу составляет правило разбиения большой системы на подсистемы, подсистем на блоки (модули), а блоки на отдельные

узлы. Данную методику применяют и при расчётах. Сначала анализируется ячейка, после чего идет переход к анализу стойки с ячейками и в финальном итоге проводят анализ всего блока в целом. В рассматриваемом случае функциональный узел - это ячейка: ПП с установленными ЭРИ и рамкой.

Традиционно при тепловых расчётах электронных блоков применяют усреднённую модель ПП. Такой подход подразумевает упрощение геометрии ПП для исключения топологических слоёв при построении конечно-элементной сетки с сохранением навесных компонентов, а так же формирование в результирующей геометрии двунаправленной (анизотропной) теплопроводности (рисунок 1).

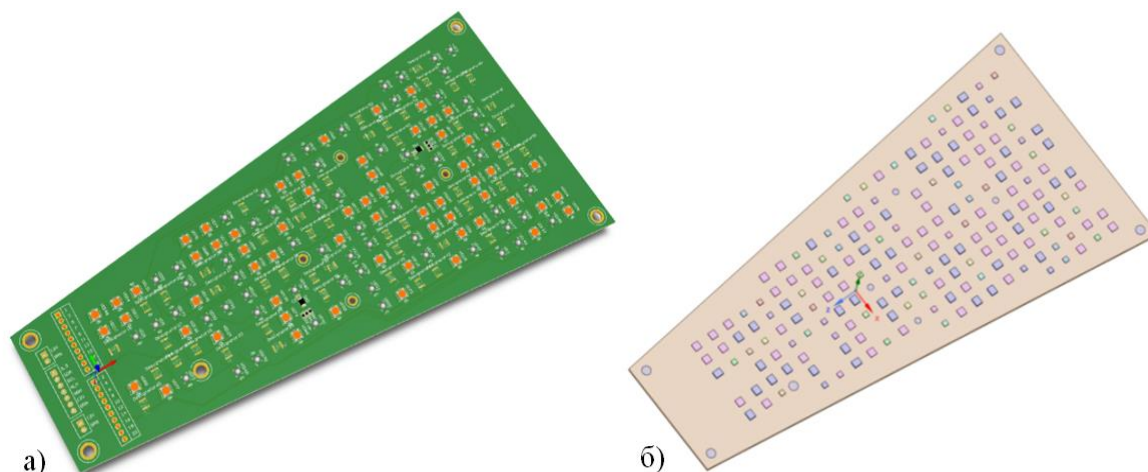


Рисунок 1. Модели ПП а) подробная в САПР Altium Designer;  
б) упрощенная для использования в расчётах

Следует отметить, что такой подход можно использовать до тех пор, пока распределение проводящего рисунка равномерно в любом слое или его плотность пренебрежимо мала. Это ограничивает зону применения данного метода простыми ПП и предварительными расчётами. С точки зрения инженера - это хороший способ для быстрой оценки общей эффективности того или иного решения, после которого можно перейти к более подробному анализу.

В свою очередь сложные ПП имеют ряд отличий: наличие внутренних теплоотводящих

решений [1-3] в контактных площадках компонентов (рисунок 2), большее количество слоёв (4 и более) с неравномерным рисунком топологии, большее тепловыделение компонентов. При применении в расчётах компактной модели ПП, эти особенности игнорируются, что ведёт к усреднению неравномерности теплопроводности и пренебрежению топологическими теплоотводящими решениями. Это в свою очередь вызывает повышение температур в результатах расчётов. Поэтому очевидно, что в сложных ПП необходимо использовать подробную модель.

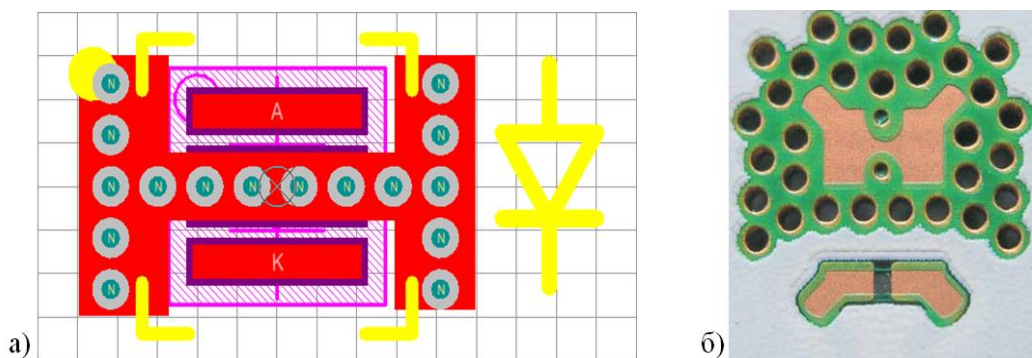


Рисунок 2. Пример теплоотводящих отверстий:  
а) в контактной площадке топологии, б) в образце ПП [4]

Подробная модель строится с использованием фоновой сетки (рисунок 3, б), создаваемой по каждому слою отдельно. Затем происходит трансляция слоёв на физическую сетку, в результате которой получается модель ПП с неравномерной теплопроводностью (рисунок 3, в), учитывающей рисунок топологии и теплоотводящие решения. При таком подходе

расчёт не усложняется построением топологии в физической сетке модели.

При этом в модели наблюдается повышение теплопроводности в местах применения теплоотводящих отверстий, а также в местах расположения дорожек топологии и контактных площадок.

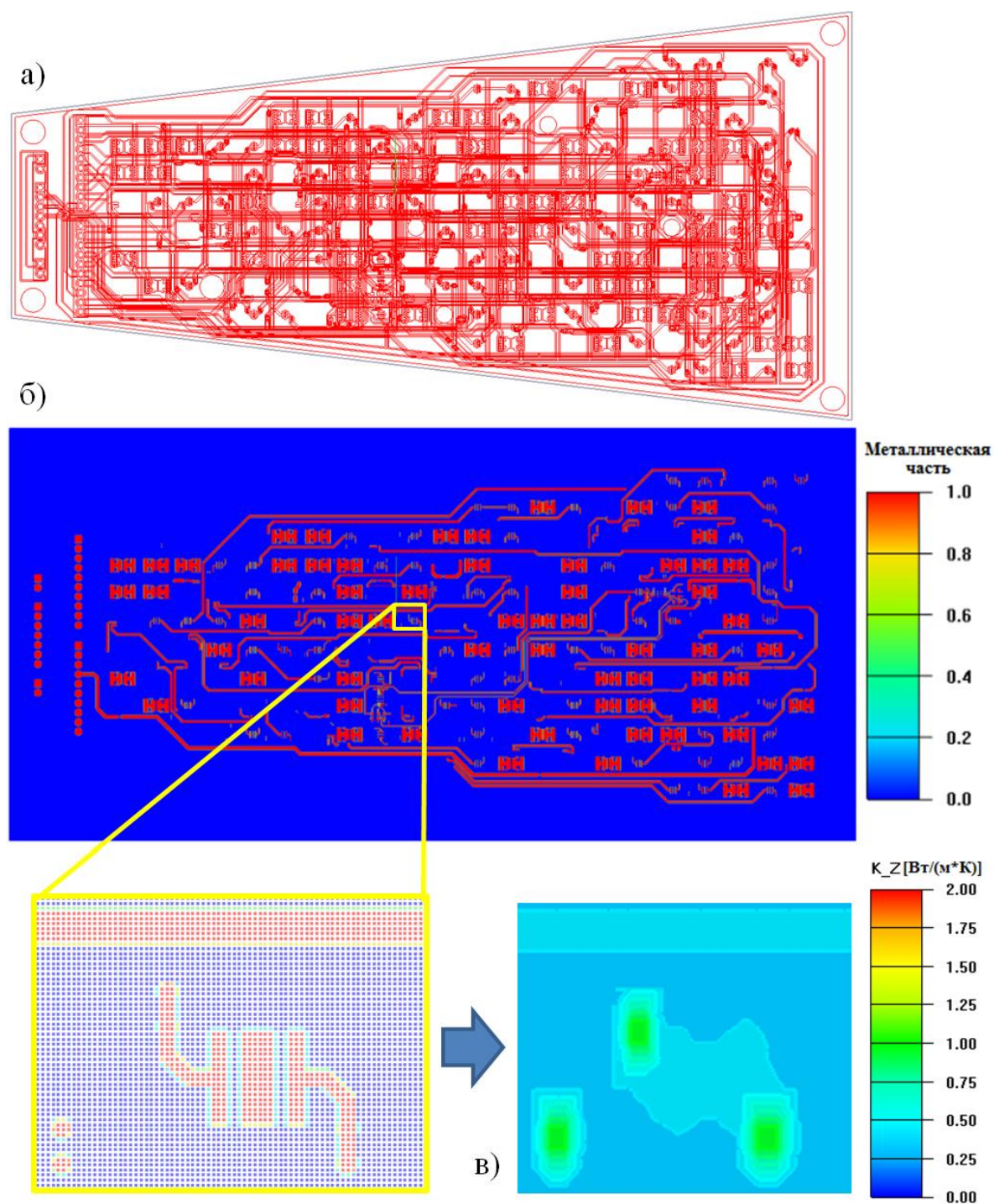


Рисунок 3. Послойное представление платы в САПР:  
 а) перенесённая топология; б) вычисленные значения фоновой сетки металлизации;  
 в) теплопроводность ПП в направлении по OZ при трансляция фоновой сетки  
 на физическую сетку модели ПП в расчётах

По данным моделям были проведены расчеты в одинаковых условиях. На рисунке 4 представлены результаты двух моделей ПП.



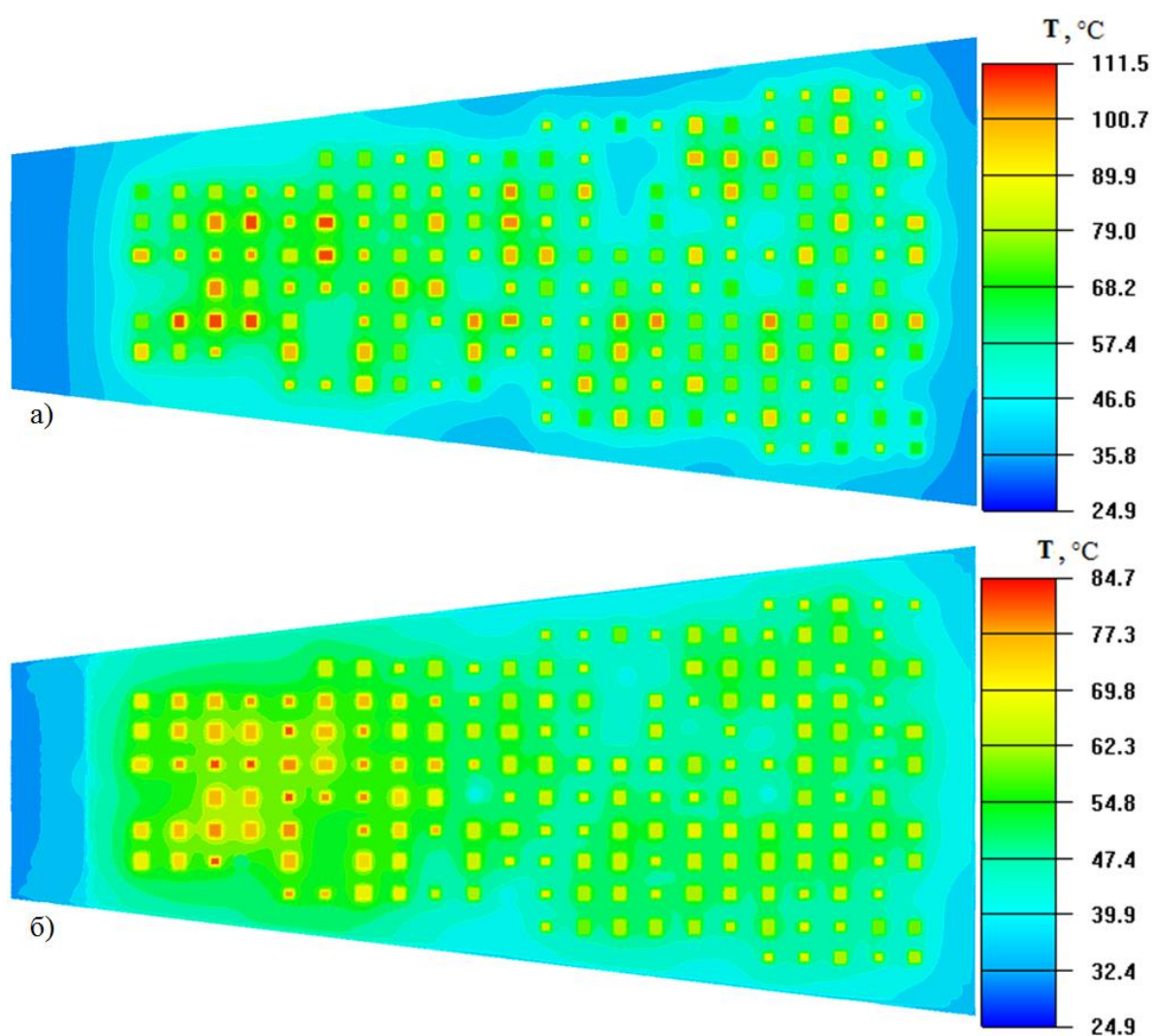


Рисунок 4. Распределение температур по моделям ПП: а) упрощённой в *Creo Simulate*; б) подробной в *ANSYS Icerak*

По сечениям, приведённым на рисунке 5, были построены зависимости температур диодов (рисунок 6).

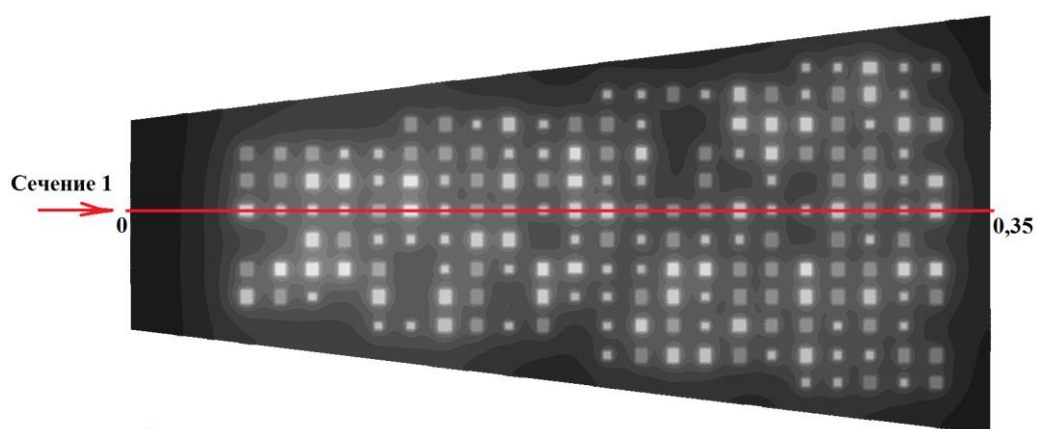


Рисунок 5. Сечение ПП для построения зависимостей температуры.

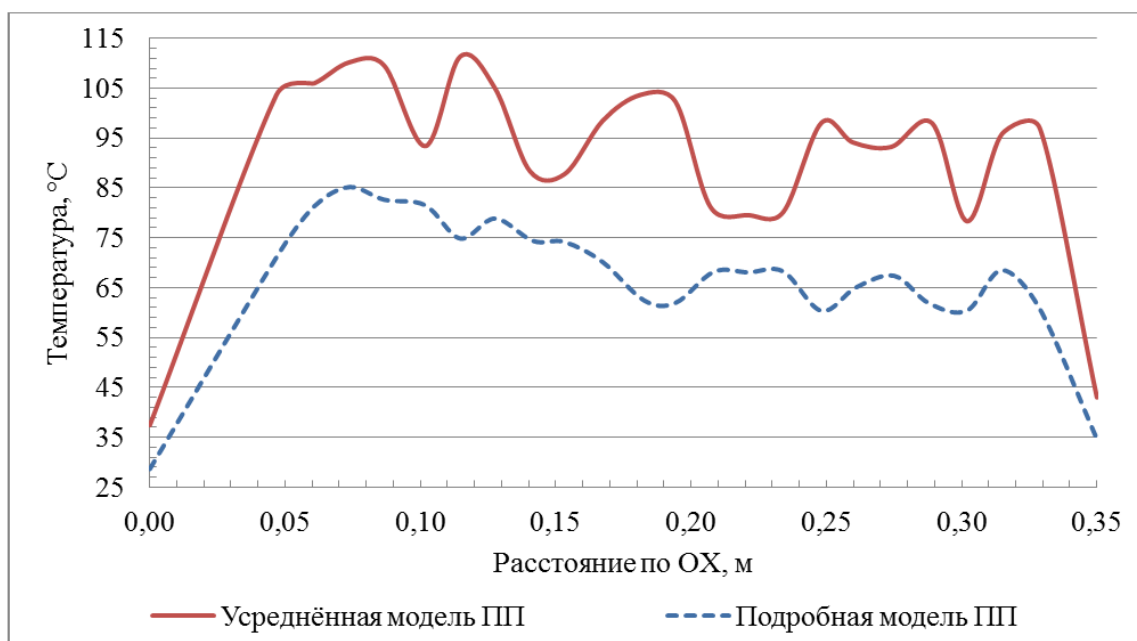


Рисунок 6. Зависимости температуры по сечению 1.

Для наглядного анализа расчётов, полученные температуры компонентов сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Расчетные температуры компонентов в двух САПР

Модель ПП	Средняя температура по сечению 1, °С	Максимальная температура, °С
Усреднённая	96,1	111,5
Подробная	70,4	84,7

Анализируя полученные результаты, необходимо отметить следующие моменты:

1. Сильное различие в температурах по ПП и компонентам. Такой сильный разброс обуславливается различным распределением теплопроводности в применяемых моделях ПП, что в основном связано с наличием большого количества теплоотводящих отверстий, вносящих значительный вклад в отвод тепла от компонентов.

2. Различие температур по усреднённой модели относительно подробной составляет: 25,7°С или 26,7% для средней температуры по сечению; 26,8°С или 24,0% для максимальной температуры (таблица 1). Такой разброс температур может сильно повлиять на принимаемые решения при разработке теплоотвода.

Все расчёты проводились в САПР ANSYS Icepak, который позволяет проводить тепловой анализ многослойных печатных плат, учитывая их трассировку (импортированием топологии ПП из САПР Altium Designer), толщину слоёв, теплоотводящие способы и решения.

#### Заключение

Проведённая работа позволила практически сравнить усреднённую и подробную модели ПП. В результатах расчётов чётко прослеживается различия между значениями температур и распределением тепла по плате и компонентам

двух моделей, что обуславливается различными методами представления теплопроводности ПП.

Полученные значения теплового распределения в ПП по подробной модели имеют более физически корректное представление, так как при их расчётах используется неравномерное распределение теплопроводности, приближенное к реальным образцам.

Использование модели ПП, учитывающей топологию и внутренние теплоотводящие решения, получаемой с помощью специализированных САПР позволит получить более подробное распределение температур, что в свою очередь приведёт к следующему:

1. Повысится достоверность результатов моделирования тепловых режимов работы МЭА.

2. Повысится количество критериев обоснованности применения теплоотводящих решений (в том числе локальных в топологии ПП).

3. Увеличится возможность снижения массогабаритных характеристик аппаратуры при сохранении высокого уровня качества и надёжности.

4. Повышение плотности интеграции ЭРИ как на ПП, так и в блоке в целом.

5. Снижение вероятности возникновения ошибки в расчётах, за счёт прямого переноса данных между САПР Altium Designer и ANSYS через специальный формат ODB++.

**Литература**

1. Фадеев А.А.: Способы организации локальных теплоотводов в многослойной печатной плате / Фадеев А.А. // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 2016.
2. Юндин А.С.: Способы отвода тепла от электронных компонентов печатных плат / Юндин А.С. // Сборник трудов конференции «Фундаментальные и прикладные научные

исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации». -2017.

3. Александр Леонов: Рекомендации по проектированию печатных плат для интегральных модулей питания серии LMZ / Александр Леонов // Компоненты и технологии. Электрон. журн. 2010. №11.

4. Денис Николаев, Анатолий Феопентов: Основы теплового менеджмента при конструировании ПСП / Денис Николаев, Анатолий Феопентов // Полупроводниковая светотехника. Электрон. журн. №1'2010

---

**ЭПОХА «SMART». ПРОБЛЕМЫ, ОСОБЕННОСТИ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

---

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.4.74.752](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.4.74.752)**Смирнов Виталий Михайлович,***к.т. н**Московский университет МВД России  
имени В.Я. Кикотя***Степанов Олег Игоревич***Московский университет МВД России  
имени В.Я. Кикотя***АННОТАЦИЯ**

Технология SMART (SMART) – это технологический подход к постановке работающих целей и задач, позволяющая уже на первоначальном этапе объединить всю имеющуюся информацию, обозначить и установить приемлемые сроки работы, определить достаточность ресурсов, а также предоставить всем участникам процесса ясные и конкретные задачи.

**ANNOTATION**

SMART technology is a modern approach to setting working goals, which allows you to summarize all available information at the initial stage, identify acceptable deadlines, determine the adequacy of resources, and provide all participants with clear and specific tasks.

**Ключевые слова:** smart, технология, развитие, прибыль, эффективность, финансы.

**Keywords:** smart, technology, development, profit, efficiency, finance.

В инновационном технологичном мире аспект областей, которые нуждаются во внедрение smart-технологий, охватывает все без исключения сферы городского хозяйства и инфраструктуры: транспорт, аналитику, коммуникации, энергетику, безопасность, экологию, мониторинг окружающей среды и другое. Сегодня IT-сфера внедрена в жизни людей, а инновационные технологии повышают и выводят на новый уровень возможности, в том числе и в градостроительстве.

В Зарубежных странах мира достаточно давно развивается так называемая концепционная программа под названием «умные города». В России достаточно активно начали разрабатывать автоматизацию систем управления, а так же предполагающую коренную модернизацию инфоструктуры. Концепция «умного города» направленная на повышение комфорта и качества жизни населения с помощью экономии ресурсов, а так же процессов «цифrofизации».

Сама же идея этой системы направлена на объединение многочисленных областей развития города в единую. Она так же имеет название «Смарт - Сити». Концепция «умный дом» является искусственным интеллектом. Играет особую роль в информационно-коммуникационных технологиях, а так же в экологических и социальных ресурсах развития города.

На сегодняшний день Сингапур занимает лидирующие позиции в smart-технологических и инновационных открытиях. Является политически, а так же географически стабильным государством. Высокоскоростной доступ к интернету здесь уже имеют абсолютно все дома, а на каждых двух жителей государства приходится три смартфона.

Так же можно отметить, что в Сингапуре данные технологии используются достаточно часто и повсеместно. Одними, из которых являются «умные» сенсоры, которые отслеживают потребление электроэнергии, воды и других показателей в режиме реального времени. На основании полученных данных высшим органам власти (правительству) удаётся оптимизировать расходы воды понизить показатели импортируемой пресной воды из Малайзии. Данные технологии позволяют населению контролировать расход собственных ресурсов и тем самым снизить траты на них.

Рассмотрим так же пример применения smart - технологий в бытовой сфере жизни населения. Им является система наблюдения за людьми в жилых помещениях, например в квартире. Система направлена на различного рода движения, будь то подозрительные или необычные, а так же длительные отсутствия какого либо передвижения в помещении. В этом случае родственникам и