

*Топильский Константин Сергеевич, студент 2 курс магистратуры,
факультет «Институт радиотехники и инфокоммуникационных технологий»,
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения, Россия, г. Санкт-Петербург*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СОЗДАНИИ БАЗОВЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ

Аннотация: Одна из самых важных и сложных задач, возникающих при разработке электронной аппаратуры — это задача отвода выделяемого тепла и обеспечение требуемых условий для надежной эксплуатации радиоэлектронных средств и входящих в них компонентов. В данной статье рассматривается процесс виртуального моделирования тепловых процессов с целью оптимизации проектно-конструкторских решений при создании базовых несущих конструкций третьего уровня на ранних этапах проектирования.

Ключевые слова: базовая несущая конструкция, радиоэлектронные средства, теплоотвод, теплообмен, тепловое поле, воздушный поток, тепловая модель, инженерное виртуальное моделирование

Abstract: One of the most important and complex tasks that arise in the development of electronic equipment is the task of removing the heat generated and providing the required conditions for reliable operation of radio-electronic means and their components. This article discusses the process of virtual modeling of thermal processes in order to optimize design solutions when creating basic load-bearing structures of the third level at the early stages of design.

Key words: basic load-bearing structure, radio-electronic means, heat sink, heat exchange, thermal field, air flow, thermal model, engineering virtual modeling.

На сегодняшний день развитие техники можно охарактеризовать созданием изделий, которые представляют сложные технические комплексы и системы, имеющие в своем составе радиоэлектронные средства (РЭС), выполняющие различные функции. Современные комплексы и системы РЭС проектируются, как правило, по модульному принципу. При этом габариты РЭС становятся меньше, а их мощность увеличивается. Надежное функционирование систем РЭС возможно лишь при эксплуатации ее элементов в относительно узком диапазоне температур. Важную роль в обеспечении требуемого теплового режима РЭС играют конструкции базовых несущих конструкций (БНК), в том числе БНК 3 уровня (стойки, шкафы, секции пульты и т.д.), в которые размещаются модули и блоки, размещаемые в БНК более низкого уровня (БНК 2, БНК 1). В этом случае именно конструкции БНК 3 должны обеспечить отвод суммарного тепловыделения РЭС и теплообмен между располагаемыми в них РЭС с окружающей средой. Поэтому одна из самых важных и сложных задач, возникающих при разработке БНК 3, - это создание системы теплоотвода, обеспечивающей не только снижение уровня температуры, но и равномерность распределения температур по всему объему БНК 3.

Целью исследований, результаты которых представлены в настоящей статье, являлось исследование влияния параметров тепловых потоков в объеме БНК 3 на температурные параметры состояния устанавливаемых в них модулей РЭС, разработка на их основе автономной системы воздушного охлаждения БНК 3 для бортовых РЭС морских судов.

В процессе исследований использовались методы компьютерного инженерного 3D моделирования путем комплексного использования программ САПР «Компас 3D» и «SolidWorks Flow Simulation».

Конструктивную основу БНК 3, например стойки, составляют вертикальные и горизонтальные профили, также в конструкции допускается использовать межэтажные перегородки и рамы с направляющими для установки БНК 1 и БНК 2. БНК 1 и корпуса вставных блоков в БНК 3 крепят через лицевые

панели к элементам межэтажных перекрытий стойки. Электрические соединения между электронными модулями (ЭМ) осуществляют, как правило, с помощью плоских кабелей. Наружные координационные размеры БНК 3 определяются параметрами носителя. Для охлаждения всего изделия в целом используют системы принудительного охлаждения, основным элементом которых является теплообменник, являющийся элементом конструкции. Система построения БНК основывается на унификации координационных, установочных и присоединительных размеров. Это создает оптимальные условия для применения автоматизированных методов на всех стадиях конструирования и производства РЭС.

В рамках исследований была спроектирована единая 3D модель корпуса и всех конструктивных составных частей БНК 3 в САПР «Компас 3D». Модель была заполнена модулями РЭС БНК 2 в двух вариантах комплектации и топологии размещения. 3D модель корпуса БНК 3 с модулями в варианте А представлена на рис.1., в варианте Б – на рис.2.

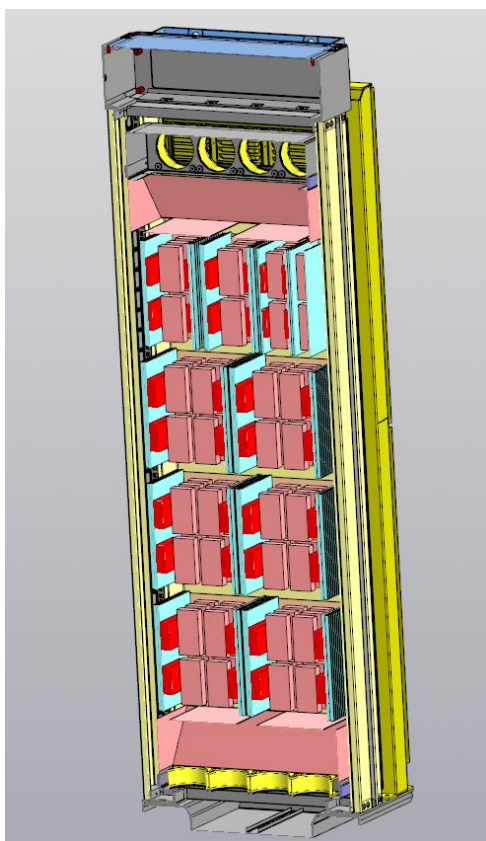


Рис. 1. 3D модель корпуса БНК 3 с модулями в варианте А

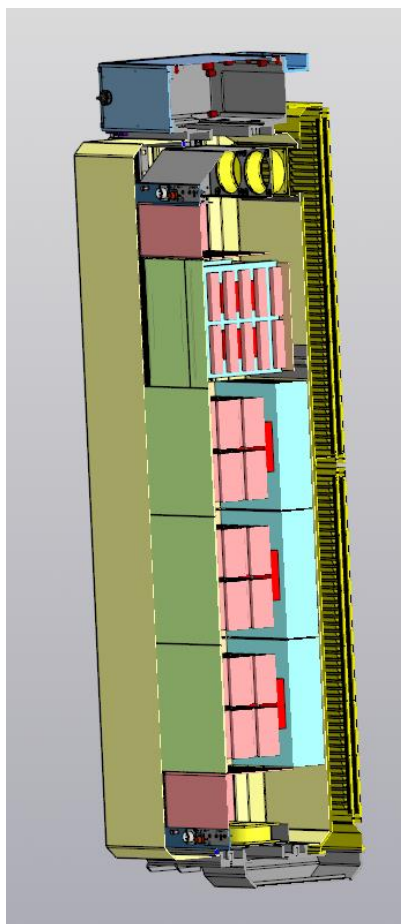


Рис. 2. 3D модель корпуса БНК 3 с модулями в варианте Б

Для проведения теплового моделирования, 3D модели, созданные в САПР «Компас 3D» были перенесены в САПР «SolidWorks». При переносе модели из одного САПР в другой ей потребовались незначительные доработки и упрощения, допустимые в рамках проводимого исследования, что позволило повысить эффективность расчёта, но не вызвало существенного снижения точности вычислений. После адаптации модели было осуществлено тепловое моделирование посредством использования программного модуля «SolidWorks Flow Simulation». В результате моделирования были получены комплексные тепловые модели исследуемой конструкции, позволяющие анализировать и оценивать ее состояние в стационарном и динамическом режимах.

Программный модуль «Flow Simulation» позволяет задавать и изменять рабочие параметры, тем самым имитируя изменения эксплуатационных условий.

В процессе данного исследования задавались следующие параметры:

- температура окружающей среды;
- мощности тепловыделения используемых электронных модулей 2 уровня в соответствии с тестируемыми вариантами;
- параметры теплопроводности материалов;
- объемный расход воздуха при принудительном обдуве.

Анализ проводился при следующих исходных данных для расчёта обоих вариантов:

- Температура окружающей среды – 20°C;
- Доступные варианты отвода тепла – воздушно-централизованное (ВЦ) и воздушно-автономное (ВА);
- Для ВЦ – расход воздуха – 400 м³/ч.
- Для ВА – используемые вентиляторы – 0,9ЭВ-1,4-8-4425 по 4 шт (всего 12 шт на прибор).

Переменной величиной являлась значение полного тепловыделения:

- для варианта А полное тепловыделение без учёта скважности составляет 6688 Вт + 215 Вт непрерывно;
- для варианта Б полное тепловыделение без учёта скважности составляет 5488 Вт + 135 Вт непрерывно.

Задаваемые условия соответствовали комплексной задаче, объединяющей тепловые воздушные потоки во внешней среде, внутри теплообменника и внутри объема самой БНК 3.

Инструменты «SolidWorks Flow Simulation» предусматривают возможность создания точной сетки путем разделения области расчёта на отдельные фрагменты. Автоматически сгенерированную сетку можно настроить вручную для учёта всех геометрических особенностей моделируемого объекта. Для выполнения расчетов в рамках данного исследования была использована автоматическая сетка с незначительными правками. Кроме этого, программа позволяет строить эпюры в пространстве и в плоскости, графики, таблицы, что также было использовано для анализа и оценки параметров состояния объекта.

На рис. 3 показаны характерные сечения поля температуры (тело и воздух)

модели исследуемой конструкции с различными системами охлаждения для варианта А. На рис. 4 представлена та же картина, но для варианта Б.

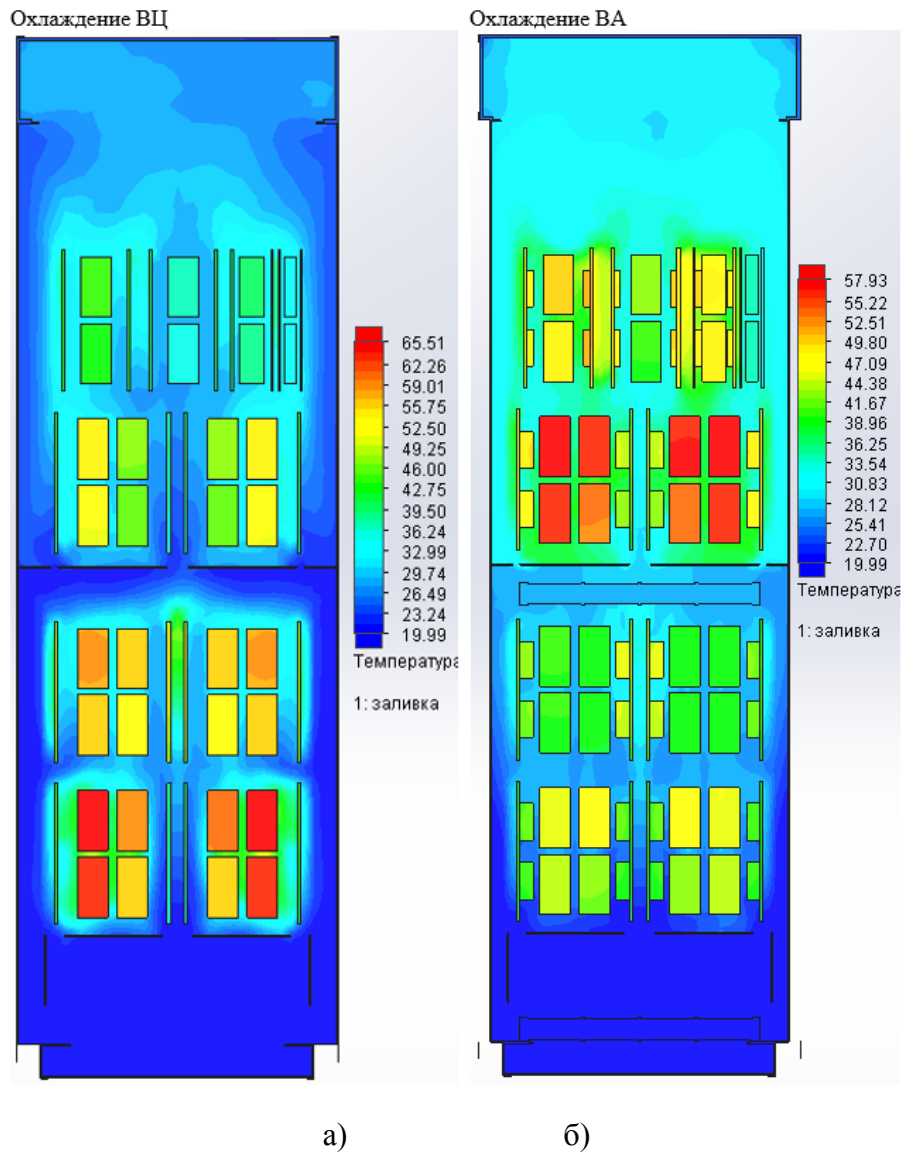


Рис. 3 Сечения теплового поля конструкции варианта А при подключении к централизованной системе охлаждения (а) и при автономной работе (б)

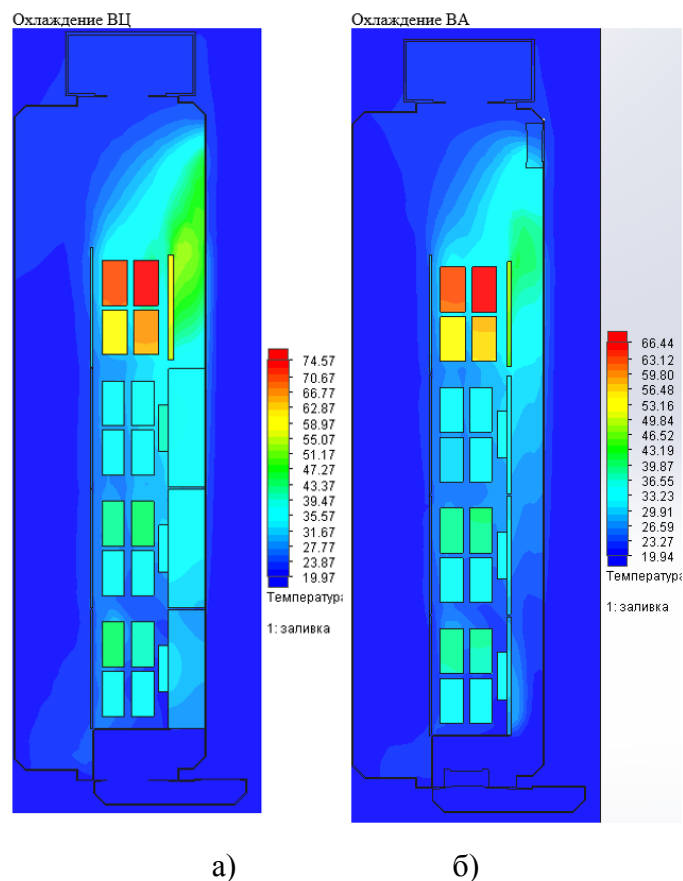


Рис. 4 Сечения теплового поля конструкции варианта Б при подключении к централизованной системе охлаждения (а) и при автономной работе (б)

Исходя из представленной модели на рис. 3, можно заключить, что изделие, функционирующее в автономном режиме, обладает более эффективными теплоотводящими свойствами. Наличие блоков вентиляторов, в частности установленного внизу для обеспечения притока воздуха и установленного в середине для усиления тяги воздушного потока, позволяют значительно снизить температуру в нижней части прибора, снизив среднюю температуру ЭМ, располагающихся на нижних этажах, до 40-44°C. Достижению подобных показателей, также способствуют предусмотренные в конструкции кожух и перегородка, предназначенные для более точного направления воздушного потока. Однако следует отметить, что поступающий поток тёплого воздуха в значительной степени нагревает ЭМ, располагающиеся на верхних этажах прибора. Таким образом, хотя средняя температура на 3 и 4 этаже прибора так же колеблется от 40 до 44°C, модули, располагающиеся на 3 этаже,

могут нагреваться до 57°C, что является максимумом для данного исполнения. Тем не менее, данный показатель ниже, чем максимум при работе модуля в составе централизованной системы, который составляет 65°C, что является безусловным плюсом и позволяет заключить, что средняя температура в автономном режиме ниже.

Исходя из результатов, представленных на рис. 4, можно заключить, что для модульного состава варианта Б, разница между ВЦ и ВА режимами работы заключается лишь в общем снижении температуры, показывающем превосходство автономного режима работы. Наибольший нагрев наблюдается на ЭМ, расположенных на 4 этаже прибора, относительно близко к месту отвода нагретого воздушного потока. Для улучшения данных показателей в будущих моделях следует рассмотреть возможность увеличения мощности вентиляторов, работающих на вытяжку нагретого воздушного потока. Подобное решение также применимо к конструктиву варианта А.

Таким образом, моделирование позволило получить значение температур по всему объему конструкции и выявить ключевые критические точки. Для большей наглядности результаты сведены и представлены в таблице 1.

Таблица 1. - Максимальные значения температуры по результатам моделирования

Вариант конструктивного исполнения	Температура, °С	
	Охлаждение ВЦ	Охлаждение ВА
Вариант А	65,5	57,9
Вариант Б	75,3	66,4

На рис. 5 и 6 представлены результаты моделирования распределения движущихся внутри объема конструкции воздушных потоков и направления векторов скоростей соответственно для варианта А и варианта Б при подключении к централизованной системе охлаждения (а) и при автономной работе (б).

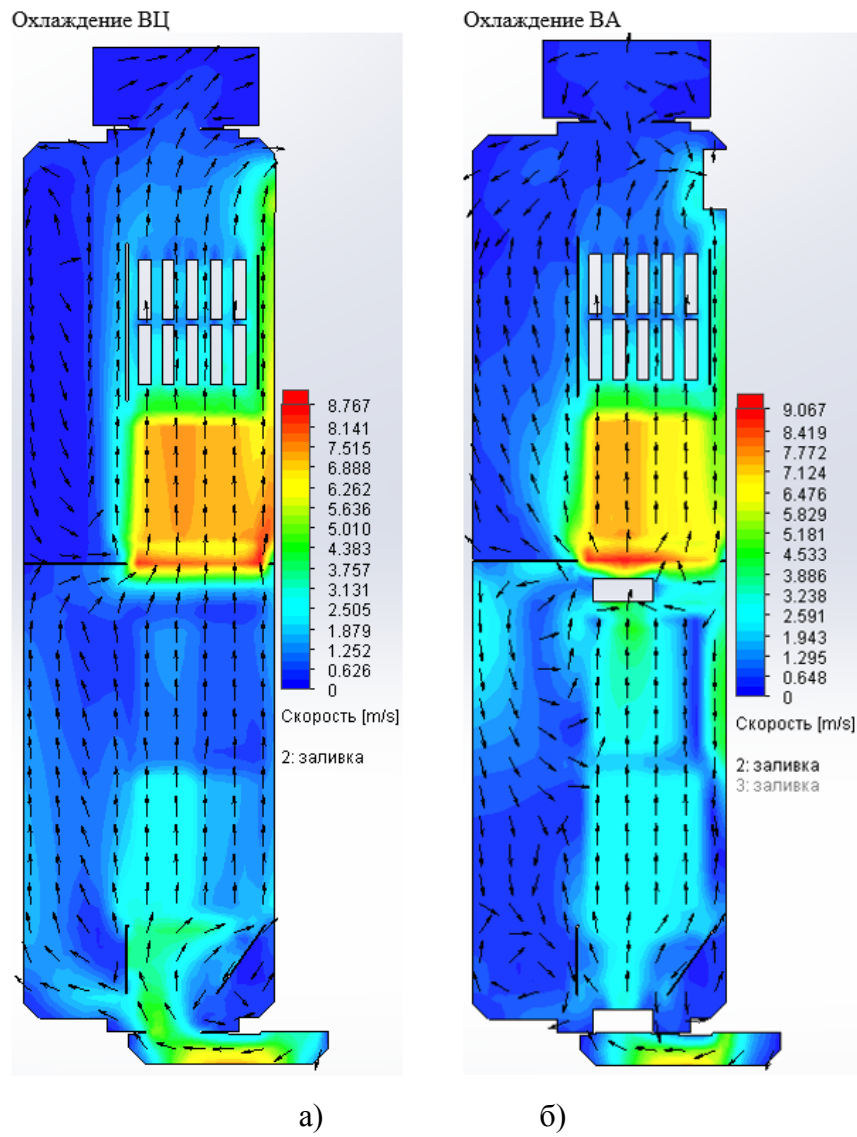


Рис. 5. Распределение тепловых воздушных потоков и направление векторов скоростей для варианта А при подключении к централизованной системе охлаждения (а) и при автономной работе (б)

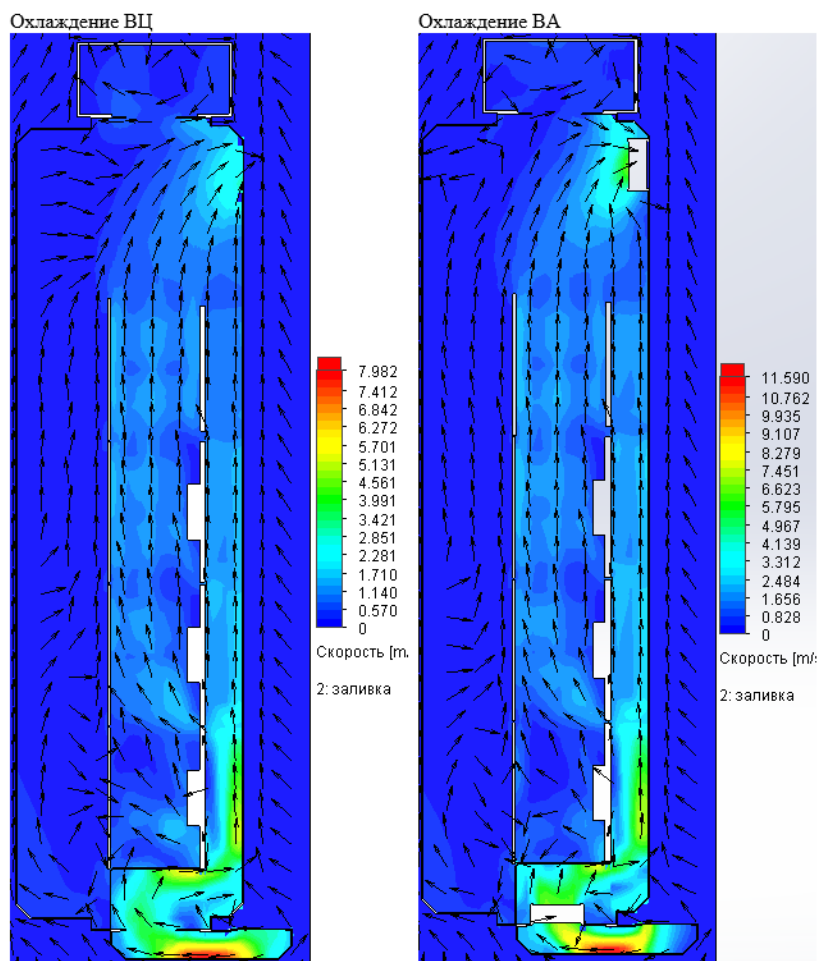


Рис. 6. Распределение тепловых воздушных потоков и направление векторов скоростей для варианта Б при подключении к централизованной системе охлаждения (а) и при автономной работе (б)

Распределение скорости воздушного потока для варианта А говорит об общем, хоть и незначительном увеличении скорости воздушного потока в автономном режиме работы. Блоки вентиляторов позволяют более точно скорректировать направление воздушного потока и направить его прямо к ЭМ, максимально избегая создания паразитных воздушных потоков.

Распределение скорости воздушного потока для варианта Б, в общем и целом, показывает, что наличие блоков вентиляторов при автономном режиме работы прибора увеличивает скорость воздушного потока. Хотя направление потока не сильно отличается, в зависимости от исполнения, очевидно, что наличие блока вентиляторов, установленных для вытяжки нагретого воздуха,

позволяет избежать создания паразитных воздушных потоков и как следствие увеличить объём пропускаемого воздуха.

Исходя из полученных результатов видно, что конструкторское решение А является более эффективным и удовлетворяющем поставленной задаче. При этом данное утверждение правомочно как для работы изделия в составе централизованной системы, так и в автономном режиме.

Сравнительный анализ конструкции нового поколения – конструкции в варианте А с ранее разработанными и используемыми вариантами схожих по назначению конструкций, показал их явное превосходство. В качестве варианта для сравнения, на рис. 7 представлены результаты тепловых расчетов и моделирования одного из устаревших вариантов конструкции.

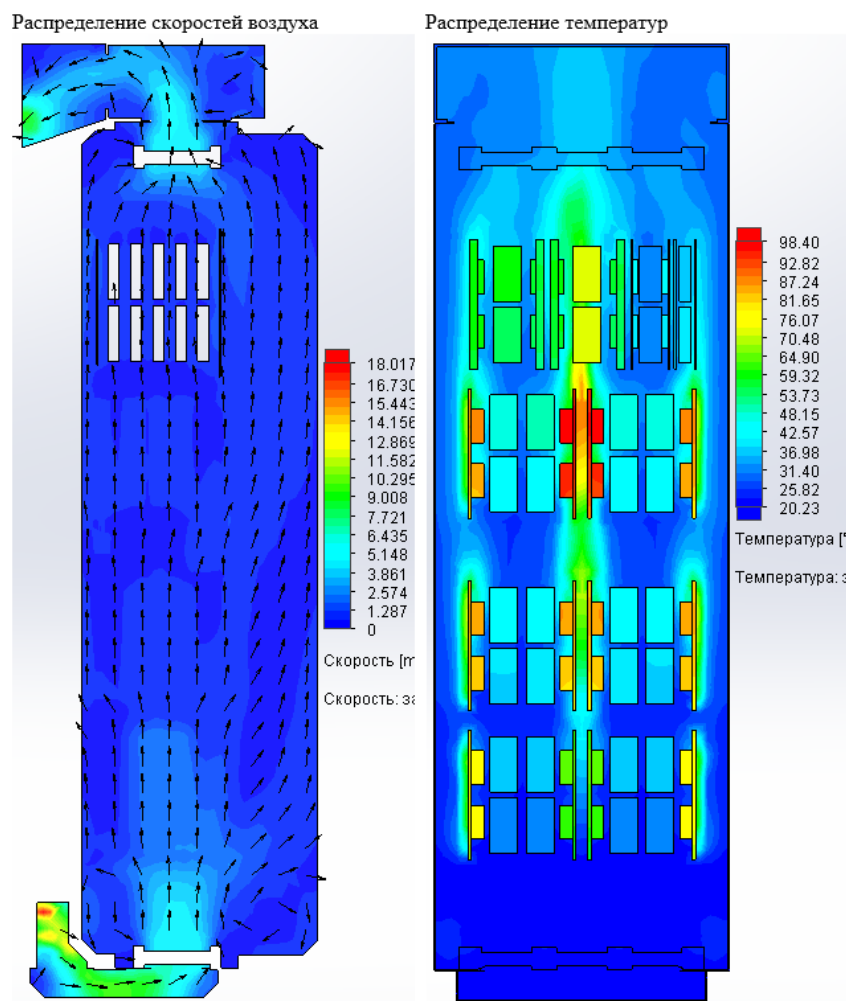


Рис. 7. Результаты моделирования конструкции предшествующего поколения: а - распределение тепловых воздушных потоков и направление векторов скоростей; б - сечения теплового поля

При сравнении данных, представленных на рис. 3-6, с данными, представленными на рис. 7, видно, что при создании конструкции нового поколения по варианту А, появляется возможность уменьшения максимальной температуры ЭМ с 98 °С до 35 °С, увеличив скорость тепловых потоков внутри объема БНК 3 в два раза (с 18 м/с до 9 м/с).

Таким образом, полученные результаты инженерного виртуального моделирования наглядно показали превосходство конструкции нового поколения, а использование методов моделирования и средств САПР при ее создании позволили значительно сократить время поиска оптимального решения.

Библиографический список:

1. В.Г. Козлов, Ю.П. Кобрин, А.А. Чернышев Основы проектирования электронных средств Учебное пособие, Томск 2012 – 150 с.
2. ГОСТ Р 51676-2000. Конструкции несущие базовые радиоэлектронных средств. Термины и определения.
3. ГОСТ Р 51623-2000. Конструкции несущие базовые радиоэлектронных средств. Система построения и координатные размеры.
4. ГОСТ 28601.1-90. Система несущих конструкций серии 482.6 мм. Панели и стойки. Основные размеры.
5. ГОСТ 28601.2-90. Система несущих конструкций серии 482.6 мм. Шкафы и стоечные конструкции. Основные размеры.
6. ГОСТ 28601.3-90. Система несущих конструкций серии 482.6 мм. Каркасы блочные и частичные подвижные. Основные размеры.
7. Р50–125–91 Рекомендации. Конструкции базовые несущие третьего уровня. Конструирование пультов оператора наземных и морских радиоэлектронных средств
8. ГОСТ Р 51623-2020 Конструкции базовые несущие радиоэлектронных средств. Система построения и координационные размеры