

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 02.05.2024 10:28:10
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 12 » 05 (ЮЗГУ) 2020 г.



ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЭВС

Методические указания по выполнению лабораторной
работы для студентов направления подготовки 09.03.01
Информатика и вычислительная техника

Курск 2020

УДК 658.512.621:681.3

Составители: Д.В.Титов, Т.А. Ширабакина

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *И.Е.Чернецкая*

Оценка теплового режима ЭВС: методические указания по выполнению лабораторной работы /Юго-Зап. гос. ун-т; сост.:Д.В.Титов, Т.А.Ширабакина.- Курск, 2020.- 13с.: ил.1, табл.7.- Библиогр.: с.13.

Описывается оценка теплового режима и методика расчета при естественном и принудительном воздушном охлаждении. Указывается порядок выполнения лабораторной работы. Приводятся контрольные вопросы.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы по дисциплине «Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ» направления подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника.

Предназначены для студентов направления подготовки 09.03.01 очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 12.08.20 . Формат
Усл. печ. л. 0,4 Уч.-изд. л. 0,6 Тираж 100 экз. Заказ. 240
Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

1 Коэффициентный метод расчета теплового режима

При создании методики коэффициентного расчета применяются экспериментальные данные по тепловым режимам реальной аппаратуры различного конструктивного исполнения. Исследование теплового режима конструкции ЭВС состоит в определении температуры t в некоторой точке и температурного перегрева Δt относительно окружающей среды.

Перегрев Δt в устройстве можно определить по формуле

$$\Delta t = \Delta t_0 \prod_{i=1}^n K_i, \quad (1)$$

где K_i - поправочные коэффициенты, учитывающие различные факторы, влияющие на условия теплообмена, причем каждый коэффициент зависит только от одного параметра; Δt_0 - перегрев для типичного устройства рассматриваемого класса с фиксированными значениями параметров; n - число поправочных коэффициентов.

Средняя квадратическая погрешность данного метода в различных классах устройств разная, но примерно соответствует следующим значениям: для корпуса ~ 8%; для нагретой зоны ~ 15%; для максимальных значений температур ~ (15 - 20%). Такая точность является вполне удовлетворительной для технических целей. Дальнейшее увеличение точности связано с большой детализацией и усложнением расчета и не всегда бывает оправданным. Исследования показали, что в рассматриваемых задачах возможно снизить погрешность примерно вдвое, но громоздкость расчета и количество исходных параметров увеличивается примерно на порядок, а общность метода значительно снижается.

2 Оценка теплового режима ЭВС в герметичном корпусе при естественном воздушном охлаждении

Естественное воздушное охлаждение является основным средством охлаждения герметичной аппаратуры. Герметизация узлов может вызываться различными обстоятельствами: бескорпусной элементной базой; наличием элементов, не предназначенных для работы при низких барометрических давлениях; защитой от возможных электрических пробоев при низких барометрических давлениях; необходимостью предохранения элементов от попадания пыли, влаги, кислот, заряженных частиц и т.п.

Обеспечение нормального теплового режима герметичных конструкций является очень сложной задачей, так как значения тепловых сопротивлений в таких конструкциях удваиваются, поскольку естественная конвекция присутствует в них дважды: внутри блока от элементов к корпусу и снаружи от корпуса в окружающую среду. Если наружное тепловое сопротивление можно уменьшить увеличением теплоотдающей поверхности оре-

брением или введением обдува наружных поверхностей корпуса, то возможности снижения внутреннего теплового сопротивления ограничены. Для этой цели возможна замена воздуха внутри блока другим газом с лучшими теплофизическими свойствами, например азотом, гелием, воздушно-гелиевой смесью. Наибольший эффект в снижении теплового сопротивления в 1,5 – 2 раза дает применение в качестве заполнителя объема шестифтористой серы (элегаз). Поскольку эффективность теплоотдачи конвекцией зависит от давления газа, то целесообразно внутри герметичного блока создавать избыточное давление. Необходимо учитывать, что при естественной воздушной конвекции большое значение имеет тепловое излучение. Поэтому необходимо, чтобы все теплоотдающие и тепловыделяющие поверхности, в первую очередь корпуса аппаратуры, имели высокую степень черноты.

При компоновке необходимо стремиться к равномерному распределению выделяемой мощности по всему объему устройства. Компоненты и узлы с большими тепловыделениями необходимо располагать в верхней части корпуса или вблизи стенок, критичные к перегреву компоненты – в нижней части, защищать тепловыми экранами.

Порядок расчета.

Рассчитывается поверхность блока по формуле

$$S_k = 2[L_1L_2 + (L_1 + L_2)L_3], \quad (2)$$

где L_1 , L_2 - горизонтальные размеры корпуса; L_3 - вертикальный размер корпуса.

Определяется условная поверхность нагретой зоны:

$$S_3 = 2[L_1L_2 + (L_1 + L_2)L_3K_3], \quad (3)$$

где K_3 - коэффициент заполнения объема корпуса.

Определяется удельная мощность корпуса блока:

$$q_k = P_3 / S_k \quad (4)$$

где P_3 - мощность, выделяемая в нагретой зоне.

Рассчитывается удельная мощность нагретой зоны:

$$q_3 = P_3 / S_3. \quad (5)$$

Находится коэффициент K_1 , зависящий от удельной мощности, выделяемой в корпусе:

$$K_1 = 0,1472q_k - 0,2962 \cdot 10^{-3}q_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6}q_k^3. \quad (6)$$

Находится коэффициент K_2 , зависящий от удельной мощности, выделяемой в нагретой зоне:

$$K_2 = 0,1390q_3 - 0,1223 \cdot 10^{-3}q_3^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6}q_3^3. \quad (7)$$

Находится коэффициент K_{H1} , зависящий от давления среды вне корпуса блока:

$$K_{H1} = 0,82 + 1/(0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5}H_1), \quad (8)$$

где H_1 - атмосферное давление снаружи корпуса блока.

Находится коэффициент K_{H2} , зависящий от давления H_2 внутри корпуса блока:

$$K_{H2} = 0,80 + 1/(1,25 + 3,8 \cdot 10^{-5}H_2). \quad (9)$$

Определяется перегрев Δt_k корпуса блока:

$$\Delta t_k = K_1 K_{H1}. \quad (10)$$

Рассчитывается перегрев Δt_z нагретой зоны:

$$\Delta t_z = \Delta t_k + (K_2 - K_1) K_{H2}. \quad (11)$$

Определяется средний перегрев Δt_θ воздуха в блоке:

$$\Delta t_\theta = 0,57(\Delta t_k + \Delta t_z). \quad (12)$$

Определяется удельная мощность элементов, находящихся в нагретой зоне:

$$q_{эл} = P_{эл} / S_{эл}, \quad (13)$$

где $P_{эл}$ - мощность, рассеиваемая элементом (узлом), температуру которого требуется определить; $S_{эл}$ - площадь поверхности элемента, обдуваемая воздухом.

Рассчитывается перегрев поверхности элемента:

$$\Delta t_{эл} = \Delta t_z [A + B(q_{эл} / q_з)], \quad (14)$$

где $A = 0,75$, $B = 0,25$.

Рассчитывается перегрев окружающей элемент среды:

$$\Delta t_{эс} = \Delta t_\theta [A + B(q_{эл} / q_з)]. \quad (15)$$

Определяется температура корпуса блока:

$$T_k = \Delta t_k + T_c, \quad (16)$$

где T_c - температура окружающей блок среды.

Определяется температура нагретой зоны:

$$T_z = \Delta t_z + T_c. \quad (17)$$

Находится температура поверхности элемента:

$$T_{эл} = \Delta t_{эл} + T_c. \quad (18)$$

Находится средняя температура воздуха в блоке:

$$T_\theta = \Delta t_\theta + T_c. \quad (19)$$

Находится температура окружающей элемент среды:

$$T_{эс} = \Delta t_{эс} + T_c. \quad (20)$$

3 Оценка теплового режима ЭВС в перфорированном корпусе при естественном воздушном охлаждении

В случаях, когда герметичность конструкции не является обязательным условием, целесообразно осуществлять перфорирование корпуса. При перфорированном корпусе конвективный теплообмен в основном происходит между элементами ЭВС и окружающей средой, проникающей сквозь перфорацию. Количество протекающего воздуха будет зависеть от площади перфорации и разницы между плотностью воздуха на входе и выходе блока. В то же время увеличение мощности, отводимой в протекающий воздух при увеличении площади перфорационных отверстий, будет наблюдаться только до определенных пределов. Увеличение площади отверстий приводит к уменьшению площади корпуса и, следовательно, к уменьшению мощности лучеиспускания. Уменьшение поверхности контактирования с окружающим возду-

хом в конечном итоге может привести к снижению мощности, отводимой протекающим воздухом.

Как показывает практика, оптимальное соотношение между площадью отверстий и поверхностью корпуса лежит в пределах 20 – 30%.

Перфорации могут быть различных видов: отверстия, жалюзи, сетки и т.п. Форма отверстий может быть различной, но при квадратных отверстиях увеличивается отношение между площадью отверстий и площадью перемычек, что благоприятно сказывается на эффективности охлаждения. Размеры отверстий могут быть следующими: круглые отверстия могут иметь диаметры 4, 6, 8 и 10 мм; квадратные - 4x4 мм; прямоугольные - 3x25, 4x50 мм. Чем меньше размеры вентиляционных отверстий, тем меньше вероятность попадания внутрь ЭВС внешних помех.

Перфорации целесообразно располагать на горизонтальных поверхностях, отстоящих друг от друга на максимальном расстоянии, в идеале на крышке и дне корпуса. При этом для обеспечения возможности свободного подхода к аппаратуре охлаждающего воздуха дно корпуса должно быть приподнято над базовой поверхностью на 20 – 30 мм. В иных случаях допускается перфорировать боковые стенки, но при этом перфорации следует располагать на расстоянии от дна или крышки не более $\frac{1}{4}$ высоты корпуса.

Когда толщина стенок корпуса не обеспечивает необходимой жесткости, вместо отверстий применяют жалюзи.

С внутренней стороны корпуса вентиляционные отверстия часто закрывают металлическими сетками. Вместо сеток в днище стоек устанавливают пылезащитные фильтры. Жалюзи в выключенном состоянии предохраняют аппаратуру от попадания внутрь пыли.

Порядок расчета.

Коэффициенты K_1 , K_2 , K_{H1} , K_{H2} находятся в соответствии с формулами (6) – (9).

Рассчитываем степень перфорированности корпуса:

$$П = S_n / (2 \cdot L1 \cdot L2), \quad (21)$$

где S_n - площадь перфорационных отверстий на верхней и нижней плоскости корпуса.

Находим коэффициент K_n в зависимости от степени перфорации:

$$K_n = 0,29 + 1 / (1,41 + 4,95 \cdot П). \quad (22)$$

Находим перегрев нагретой зоны:

$$\Delta t_3 = 0,93 \cdot K_n \cdot [K_1 \cdot K_{H1} + (K_2 / 0,93 - K_1) \cdot K_{H2}]. \quad (23)$$

Определяем перегрев корпуса блока:

$$\Delta t_k = 0,93 \cdot K_1 \cdot K_{H1} \cdot K_n. \quad (24)$$

Определяем средний перегрев воздуха в блоке:

$$\Delta t_e = 0,6 \cdot \Delta t_3. \quad (25)$$

Находим температуры корпуса блока, нагретой зоны и воздуха в блоке:

$$T_k = \Delta t_k + T_c; \quad (26)$$

$$T_3 = \Delta t_3 + T_c; \quad (27)$$

$$T_6 = \Delta t_6 + T_c, \quad (28)$$

где T_c - температура окружающей среды.

4 Оценка теплового режима ЭВС при принудительном воздушном охлаждении

Принудительное воздушное охлаждение получило наибольшее распространение, так как позволяет при более высоких удельных мощностях рассеивания обеспечить нормальный тепловой режим ЭВС при относительной простоте и небольшой стоимости. Вместе с тем системы принудительного воздушного охлаждения имеют и ряд существенных недостатков, таких как наличие акустических шумов и вибрации, увеличение объема и массы, снижение надежности изделия и увеличение затрат мощности на охлаждение.

Конструкция, в которой используется принудительная воздушная вентиляция, должна обладать следующим требованиям:

- обладать малым аэродинамическим сопротивлением протекающему воздуху;
- обеспечивать хороший доступ холодного воздуха к теплонагруженным элементам;
- предотвращать попадание нагретого воздуха на чувствительные элементы;
- защищать внутренний объем от пыли;
- обеспечивать резервирование принудительного воздушного потока;
- осуществлять автоматическое отключение блока при выходе из строя системы принудительной вентиляции.

Различают три основные схемы принудительного воздушного охлаждения: внутреннее перемешивание, наружный обдув, продувку. При применении внутреннего перемешивания газа с помощью встроенного вентилятора к мощности, рассеиваемой в герметичном блоке, добавляется мощность электродвигателя вентилятора. Температура внутри блока снижается за счет интенсивности принудительного воздушного охлаждения. Кроме того, при этом значительно выравниваются температуры элементов внутри, что для некоторых классов аппаратуры является важным параметром. Внутреннее перемешивание и наружный обдув сочетают признаки принудительного и естественного охлаждения, поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать схему охлаждения с продувкой.

При продувке воздух из окружающей среды или предварительно охлажденный в специальных устройствах (теплообменниках, кондиционерах и т.д.) пропускается через специальные каналы и охлаждает элементы ЭВС. На практике применяют три системы принудительного воздушного охлаждения: приточную, вытяжную и приточно-вытяжную (рисунок 1).

Приточная система характеризуется тем, что воздух под давлением, создаваемым вентилятором, поступает в аппаратуру, отбирает тепло от элементов и выбрасывается в окружающую среду или поступает в вытяжной воздухопровод (коллектор). В вытяжной системе вентилятор устанавливается на выходе воздуха из аппаратуры. При этом он высасывает воздух из корпуса. В приточно-вытяжной системе вентиляторы устанавливают и на входе и на выходе воздуха.

Каждая из систем обладает своими недостатками и достоинствами. Достоинством приточной системы является то, что воздух в аппаратуру подается с повышенным давлением, что благоприятствует теплоотдаче внутри аппаратуры. Вместе с тем поступающий в шкаф воздух имеет более высокую температуру, так как он нагревается за счет части мощности, потребляемой электродвигателем вентилятора. В вытяжной системе мощность вентилятора не оказывает влияние на температуру всасываемого в аппаратуру воздуха, однако этот воздух имеет давление несколько ниже нормального и поэтому менее эффективен как теплоноситель. Кроме того, в такой системе электродвигатель вентилятора находится в потоке горячего воздуха, выходящего из аппаратуры, и здесь следует обращать внимание на то, чтобы температура электродвигателя не превышала допустимое значение.

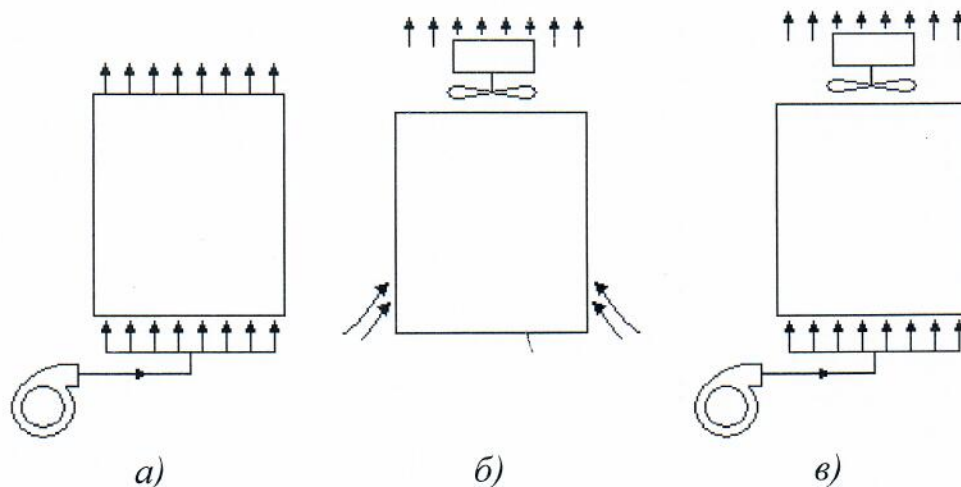


Рисунок 1- Системы принудительного воздушного охлаждения аппаратуры: *a* – приточная; *б* – вытяжная; *в* – приточно-вытяжная

Приточная и вытяжная системы имеют общий недостаток: они не препятствуют утечкам воздуха. В то же время применение приточно-вытяжной системы даже без изменения конструкции аппаратуры позволяет в несколько раз снизить утечки воздуха. Поэтому, несмотря на кажущуюся сложность приточно-вытяжной системы, применение ее экономически целесообразно.

При использовании коэффициентного метода оценки теплового режима для системы принудительного воздушного охлаждения делаются следующие допущения:

- температура окружающей среды $-60 \div +60$ °С;
- температура охлаждающего воздуха на входе $-20 \div +60$ °С;
- коэффициент заполнения $0,1 \div 0,65$;
- мощность, рассеиваемая в блоке, $5 \div 800$ Вт;
- массовый расход охлаждающего воздуха $0,003 \div 0,25$ кг/с;
- сечение блока, перпендикулярное к направлению продува $0,02 \div 0,75$ м² и длина блока в направлении продува $0,1 \div 0,8$ м.

Для оценки теплового режима блока с принудительным воздушным охлаждением с использованием экспериментальных данных была получена следующая формула для определения перегрева нагретой зоны:

$$\Delta t_3 = P m_1 m_2 m_3 m_4 + \Delta t_6, \quad (29)$$

где m_1 - коэффициент, учитывающий величину массового расхода охлаждающего воздуха; m_2 - коэффициент, учитывающий величину площади поперечного к направлению обдува сечения блока; m_3 - коэффициент, учитывающий длину блока в направлении продува; m_4 - коэффициент, учитывающий заполнение блока; Δt_6 - средний перегрев воздуха в блоке.

Определяем средний перегрев воздуха в блоке

$$\Delta t_6 = P / (2 C_p G) = 5 \cdot 10^{-4} P / G, \quad (30)$$

где P - мощность источников тепла, расположенных в блоке; G - массовый расход охлаждающего воздуха; C_p - теплоемкость воздуха ($C_p = 10^3$ Дж/кг·К при нормальных условиях).

Находим площадь поперечного в направлении продува сечения корпуса блока:

$$S = L_1 L_2, \quad (31)$$

где L_1 и L_2 - размеры корпуса блока, перпендикулярные направлению продува.

Находим коэффициент m_1 в зависимости от массового расхода охлаждающего воздуха:

$$m_1 = 0,001 G^{-0,5}. \quad (32)$$

Находим коэффициент m_2 в зависимости от поперечного в направлении продува сечения корпуса блока:

$$m_2 = (L_1 L_2)^{-0,406}. \quad (33)$$

Определяем коэффициент m_3 в зависимости от длины корпуса блока в направлении продува:

$$m_3 = L_3^{-1,059}. \quad (34)$$

Находим коэффициент m_4 в зависимости от коэффициента заполнения блока:

$$m_4 = K_3^{-0,42} (1 - K_3^{2/3})^{0,5}. \quad (35)$$

Рассчитываем перегрев нагретой зоны блока:

$$\Delta t_3 = \Delta t_6 + P m_1 m_2 m_3 m_4. \quad (36)$$

Находим площадь условной поверхности нагретой зоны:

$$S_3 = 2[L_1L_2 + (L_1 + L_2)L_3K_3]. \quad (37)$$

Определяем удельную мощность, выделяемую в нагретой зоне:

$$q_3 = P/S_3. \quad (38)$$

Находим удельную мощность, выделяемую элементом:

$$q_{эл} = P_{эл}/S_{эл}, \quad (39)$$

где $P_{эл}$ - мощность, рассеиваемая элементом; $S_{эл}$ - площадь поверхности элемента, обдуваемая воздухом.

Рассчитываем перегрев поверхности элемента:

$$\Delta t_{эл} = \Delta t_3(0,75 + 0,25q_{эл}/q_3)(0,5 + L/L_3), \quad (40)$$

где L - расстояние в направлении движения охлаждающего воздуха от входного сечения до места расположения элемента.

Рассчитываем перегрев окружающей элемент среды:

$$\Delta t_{эс} = \Delta t_6(0,75 + 0,25q_{эл}/q_3)(0,5 + L/L_3). \quad (41)$$

Находим температуру нагретой зоны:

$$T_3 = \Delta t_3 + T_{эс}; \quad (42)$$

среднюю температуру воздуха в блок:

$$T_6 = \Delta t_6 + T_{эс}; \quad (43)$$

температуру воздуха на выходе из блока:

$$T_{62} = 2\Delta t_6 + T_{эс}; \quad (44)$$

температуру поверхности элемента:

$$T_{эл} = \Delta t_{эл} + T_{эс}; \quad (45)$$

температуру окружающего элемент воздуха:

$$T_{эс} = \Delta t_{эс} + T_{эс}. \quad (46)$$

5 Задание для самостоятельной работы

1. Оценка теплового режима блока ЭВС с герметичным корпусом.

Исходные данные для расчета:

1) температура воздуха окружающей среды T_c , °С:

$$T_c = 5 + N;$$

2) коэффициент заполнения K_3 :

$$K_3 = 0,3 + 0,02N;$$

3) мощность P , выделяемая в объеме блока, Вт:

$$P = 150 + 10N;$$

4) атмосферное давление снаружи корпуса H_1 , МПа:

$$H_1 = 0,01 + 0,002N;$$

5) давление внутри блока H_2 , МПа:

$$H_2 = 0,015 + 0,002N;$$

6) размеры блока - L_1, L_2, L_3 , мм:

$$L_1 = 150 + 10N; L_2 = 180 + 10N; L_3 = 220 + 10N;$$

где N - номер варианта, задаваемый преподавателем.

1.1. Рассчитать тепловые характеристики для корпуса и нагретой зоны. Результаты расчета представить в виде таблицы 1.

Таблица 1-Тепловые характеристики нагретой зоны и корпуса блока

$q_k, \text{Вт/м}^2$	$q_z, \text{Вт/м}^2$	$\Delta t_k, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_z, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_b, ^\circ\text{C}$	$T_k, ^\circ\text{C}$	$T_z, ^\circ\text{C}$	$T_b, ^\circ\text{C}$

1.2. Рассчитать тепловые характеристики для радиоэлементов, находящихся в нагретой зоне (тип радиоэлемента задается преподавателем). Данные расчета представить в виде таблицы 2.

Таблица 2 - Тепловые характеристики элементов

Тип элемента	$S_{эл}, \text{м}^2$	$P_{эл}, \text{Вт}$	$q_{эл}, \text{Вт/м}^2$	$T_{эл}, ^\circ\text{C}$	$T_{эс}, ^\circ\text{C}$	$T_z, ^\circ\text{C}$	$T_k, ^\circ\text{C}$

1.3. Построить график зависимости тепловых характеристик T_k, T_z, T_b от внешнего давления среды H_1 . Данные расчета представить в виде таблицы 3.

Таблица 3 - Влияние внешнего давления H_1 на тепловые характеристики

Тепловая характеристика	Внешнее давление, МПа					
	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10

2. Оценка теплового режима для блока ЭВС с перфорированным корпусом.

Исходные данные для расчета:

В качестве исходных данных взять данные из п.1. Атмосферное давление снаружи корпуса и давление внутри корпуса считать одинаковыми:

$$H_1 = H_2 = 0,01 + 0,002N.$$

2.1. Рассчитать влияние степени перфорированности корпуса блока на температуры корпуса T_k , нагретой зоны T_z и воздуха T_b в блоке. Результаты расчета привести в виде таблицы 4.

Таблица 4 - Результаты расчета тепловых характеристик T_k, T_z, T_b

Тепловая характеристика	Степень перфорированности корпуса Π						
	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22

2.2. Построить графики влияния степени перфорированности корпуса Π на тепловые характеристики T_k, T_z, T_b .

3. Оценка теплового режима для блока ЭВС с принудительным воздушным охлаждением.

Исходные данные для расчета:

1) температура воздуха на входе блока $T_{вх}, ^\circ\text{C}$:

$$T_{вх} = 5 + N;$$

2) производительность вентилятора $G, \text{кг/с}$:

$$G = 0,01N;$$

3) остальные данные в соответствии с п.1 (коэффициент заполнения, K_3 ; мощность P , выделяемая в объеме блока, Вт; размеры блока - L_1, L_2, L_3 , мм).

3.1. Определить температуры нагретой зоны T_3 , воздуха на выходе из блока $T_{\theta 2}$, воздуха в блоке T_{θ} . Результаты расчета представить в виде таблицы 5.

Таблица 5 -Тепловые характеристики блока

$\theta_{\theta}, ^\circ C$	m_1	m_2	m_3	m_4	$T_3, ^\circ C$	$T_{\theta}, ^\circ C$	$T_{\theta 2}, ^\circ C$

3.2. Определить температуру нагретой зоны, температуру воздуха в блоке, температуру воздуха на выходе из блока в зависимости от производительности вентилятора. Результаты расчета представить в виде таблицы 6.

Таблица 6 –Результаты расчета

Температура определяемой характеристики	Производительность вентилятора, кг/с							
	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,021	0,025

3.3. Построить графики зависимостей $T_3, T_{\theta}, T_{\theta 2}$ от производительности вентилятора.

3.4. Определить перегрев элемента с площадью поверхности $S_{\theta 1} = 1,3 \text{ см}^2$ в зависимости от расстояния от входного сечения. ($P_{\theta 1} = 0,25 \text{ Вт}$). Результаты расчета представить в виде таблицы 7.

Таблица 7 – Результаты расчета перегрева

$\theta_{\theta 1}, ^\circ C$	Расстояние от входного сечения, L				
	0,2L	0,4L	0,6L	0,8L	1,0L

3.5. Построить график зависимости перегрева элемента от расстояния от входного сечения.

Контрольные вопросы

1. Приведите определение конвекции.
2. Перечислите методы конвекционного охлаждения аппаратуры.
3. Дайте определение тепловой модели.
4. От чего зависит эффективность конвекционного охлаждения?
5. Какие другие методы теплового охлаждения аппаратуры применяют в конструкциях ЭВС?
6. Как влияет внешнее и внутреннее давление на перегрев корпуса и нагретой зоны?
7. Как влияет перфорация корпуса на тепловой режим работы аппаратуры?
8. Приведите методику расчета теплового режима аппаратуры в перфорированном корпусе.

9. Перечислите способы принудительного охлаждения аппаратуры.
10. Назовите требования, предъявляемые к конструкции с принудительным воздушным охлаждением.

Библиографический список

1. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; Под общ. ред. В.А. Шахнова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 568 с.
2. Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ: учеб. пособие / Т.А. Ширабакина, С.Н. Гвоздева, Д.В. Титов; Юго-Зап. гос. ун-т.- Курск, 2019.-200 с.