

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 171 – «ЕЛЕКТРОІНКА»
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ «ТЕХНОЛОГІЯ, ОБЛАДНАННЯ ТА
ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ»
ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

КРЕМЕНЧУК 2023

Методичні вказівки щодо виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни «Конструювання електронних пристроїв» для студентів денної форми навчання зі спеціальності 171 – «Електроніка» освітньо-професійної програми «Технологія, обладнання та виробництво електронної техніки» освітнього ступеня «Бакалавр»

Укладач к. т. н., доц. Д. В. Мосьпан

Рецензент к. т. н., доц. О. О. Юрко

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № 3 від 23 11 2023 року

Голова методичної ради



проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Методичні рекомендації щодо оформлення курсового проєкту.....	7
1.1. Рекомендації щодо виконання окремих розділів ПЗ.....	8
1.1.1 Забезпечення нормального теплового режиму.....	10
1.2 Вимоги щодо оформлення конструкторської документації.....	11
1.3 Вимоги щодо оформлення графічної частини КП.....	12
1.3.1 Граничні відхилення.....	13
1.3.2 Шорсткість поверхонь	14
2 Методичні рекомендації щодо виконання розрахунків курсового проєкту.....	16
2.1 Вибір типу охолодження пристрою.....	16
2.2 Урахування впливу зовнішнього тиску на режим охолодження.	24
2.3 Визначення товщини стінки кожуха РЕА.....	29
2.4 Розрахунки теплового режиму блока РЕА	29
2.4.1 Порядок розрахунків теплового режиму блока у герметичному кожусі.....	29
2.4.2 Порядок розрахунків теплового режиму блока у герметичному кожусі з внутрішнім перемішуванням.....	34
2.4.3 Порядок розрахунків теплового режиму блока у герметичному кожусі із зовнішнім обдуванням	36
2.4.4 Порядок розрахунків теплового режиму блока у герметичному ребреному корпусі.....	37
2.4.5 Порядок розрахунків теплового режиму блока у перфорованому корпусі.....	39
2.4.6 Розрахунки теплового режиму РЕА за примусового повітряного охолодження.....	41
3 Критерії оцінювання знань студентів.....	45
Список літератури.....	46

Додаток А	50
Додаток Б	59
Додаток В	60
Додаток Г	62

ВСТУП

Метою даного курсового проєкту є надання можливості студенту продемонструвати ступінь володіння креативною складовою знань і навичок, одержаних ним під час вивчення комплексу навчальних дисциплін, що стосуються конструювання радіоелектронних пристроїв різного функціонального призначення.

Завдання проєкту полягає у визначенні оптимальних геометричних розмірів корпусу пристрою (приладу) з урахуванням умов забезпечення необхідних температурних режимів і міцності.

У результаті виконання студенти повинні:

- **знати** основні вимоги та критерії розрахунку теплових режимів електронних апаратів;

- **уміти** проводити розрахунки з моделювання теплових режимів, а також мати можливість самостійно визначати параметри деталей та елементів, які входять до складу електронних засобів і впливають на забезпечення параметрів теплового режиму пристрою, визначеному у технічному завданні проєктування;

- **мати уяву:** про перспективні напрями розвитку технічних і технологічних засобів забезпечення потрібного теплового режиму електронних пристроїв.

Вихідними даними для проєктування є вимоги технічного завдання кваліфікаційної роботи студента. У разі їх відсутності необхідні дані визначаються за варіантом, вибраним за табл. А1 (додаток А). Номер варіанта вибирають за останньою цифрою номера залікової книжки або порядкового номера студента у академічному журналі групи номера .

Слід зауважити, що процес конструювання радіоелектронних пристроїв, зокрема їх корпусу є ітеративним, тобто у 90 випадках зі 100 з першого разу не вдається досягти бажаного результату і, переконавшись у цьому, після виконання останнього пункту алгоритму розрахунків необхідно вносити певні

зміни до перших кроків зазначеного алгоритму і повторювати розрахунки, доки бажаний результат не буде досягнуто.

Тому у пояснювальній записці до курсового проєкту необхідно коротко зазначити, за якою ітерацією був одержаний кінцевий результат. Наприклад, «За вибраних розмірів корпусу ... та товщини матеріалу стінок параметри температурного режиму та міцності становили ..., що не відповідає вимогам технічного завдання, тому були вибрані такі значення вхідних параметрів ..., що дозволили забезпечити потрібні вимоги». І всі розрахунки наводити лише для варіанта тих вибраних параметрів, що забезпечили виконання потрібних умов.

Конструювання приладів медико-біологічного призначення ускладнюється висуванням додаткових умов щодо властивостей застосованих матеріалів, рівнів електромагнітного випромінювання, температури тощо. Основні особливості розв'язання проблем щодо виконання курсового проєкту для приладів медико-біологічного призначення, надані у [1–5].

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Курсовий проєкт (КП) є документом, у якому надаються результати виконаної проєктної роботи. Він складається з розрахунково-пояснювальної записки (РПЗ) і графічних матеріалів, які віддзеркалюють ступінь розв'язання інженерного завдання, що було встановлено технічним завданням (ТЗ) на проєктування.

Пояснювальна записка має коротко і чітко розкривати задачі, що розв'язувались у проєкті, містити техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень, вибір методик для конструкторських розрахунків та аналіз їх результатів.

Пояснювальна записка КП повинна мати наскрізну нумерацію, бути акуратно зброшурованою і мати тверду обкладинку. Орієнтовний обсяг ПЗ складає 40–60 аркушів формату А4 тексту шрифтом Times New Roman розміром 14 з інтервалом 1,5, а також полями зверху та знизу – 2 см; ліворуч – 3 см; праворуч – 1,5 см.

Типову структуру ПЗ надано у таблиці 1.1. Схеми, опис яких надається у розрахунково-пояснювальній записці, мають розміщуватись у додатках. Припустимим є розміщення у додатках окремих додаткових і допоміжних матеріалів, виконаних методами копіювання.

Зразки титульної сторінки та листа технічного завдання курсового проєкту подано у додатках Б і В.

Структура ПЗ відповідає змісту етапів календарного плану виконання КП.

Виконаний у повному обсязі проєкт підписується виконавцем і консультантами і передається на нормоконтроль у незброшурованому вигляді. Після здійснення процедури нормоконтролю всі текстові та графічні матеріали передаються науковому керівникові для попереднього захисту.

Передзахист передбачає доповідь на 10 хв і демонстрацію основних положень виконаного КП за допомогою графічного матеріалу. Після успішного

проходження передзахисту, що підтверджується візою керівника проєкту на титульній сторінці, проєкт подають на захист перед комісією.

Таблиця 1.1 – Структура розрахунково-пояснювальної записки КП

Структура записки	Кількість сторінок
Титульна сторінка	1
Завдання на КП	2
Реферат	1
Зміст	1–2
Перелік умовних позначень, скорочень і термінів	1
Вступ	1–2
Основна частина: Аналіз призначення та умов експлуатації виробу Аналіз схеми та елементної бази Розробка технічних вимог щодо конструкції Конструкторські обґрунтування, рішення та розрахунки Виконання конструкторської документації	30–50
Висновки	1
Перелік літературних джерел	1–2
Додатки	Без обмежень

1.1 Рекомендації щодо виконання окремих розділів ПЗ

У розділі «Аналіз призначення та умов експлуатації виробу» необхідно надати коротку характеристику призначення виробу та умов його експлуатації, які виявив студент під час аналізу технічного завдання на курсовий проєкт.

Розділ «Аналіз схеми та елементної бази» повинен містити висновки студента щодо схемних особливостей пристрою, що впливатимуть на майбутні конструкторські рішення, визначатимуть масо–габаритні параметри конструкції тощо.

Розділ «Розробка технічних вимог щодо конструкції» має висвітлювати такі питання:

- будову виробу, що проєктується;
- вимоги щодо стійкості РЕА до механічних і кліматичних впливів;
- вимоги щодо надійності;
- вимоги ергономіки та естетики;

- вимоги до технологічності та уніфікації;
- патентно-правові вимоги;
- вимоги безпеки РЕА;
- вимоги до технічного обслуговування та ремонту.

Рекомендується визначити класифікаційну характеристику виробу, уточнити категорію розміщення апаратури на об'єкті експлуатації, вибрати норми кліматичних і механічних діянь під час зберігання, транспортування та експлуатації апаратури.

Розділ «Конструкторські обґрунтування, рішення та розрахунки» формується, з урахуванням того, що сучасне конструювання ґрунтується на системному підході і являє собою ітераційний процес пошуку оптимального рішення за наявності певного переліку обмежень і нечіткості сформульованих критеріїв оптимізації. Для такого процесу характерним є застосування точних, суворо формалізованих процедур разом із залученням інтуїтивно-евристичних методів. Кожна наступна ітерація має наближати розроблювану конструкцію до оптимальної, яка відповідає вимогам ТЗ. Зазвичай розробник не має достатньо часу і можливості здійснити необхідну кількість ітерацій, тому зупиняє свій вибір на квазіоптимальному рішенні, за якого забезпечується реалізація всіх необхідних технічних вимог, нехай і не найкращим чином.

Рекомендується здійснювати конструкторську розробку, дотримуючись таких етапів:

- поділ конструкції на структурні рівні;
- вибір загального компоновання виробу.

Під час поділу на конструктивні одиниці слід ураховувати такі принципи комплектування:

- функціональну завершеність;
- електромагнітну сумісність;
- теплову сумісність;
- механічну сумісність;
- технологічність виробу.

Особливо слід наголосити на важливості проектування виробу на **другому рівні конструкції** – це типові компоненти (сукупність елементної бази, електричних і механічних елементів, що мають самостійне функціональне призначення), до складу яких належать гібридні мікросхеми окремого застосування, об'ємні мікромодулі, мікроскладання, вузли з печатним монтажем, субблоки).

У процесі внутрішнього компонування розміщення окремих великих елементів і конструктивно-функціональних вузлів у виробі виконується з урахуванням основних вимог:

- електромагнітної сумісності та електричної міцності;
- забезпечення нормального теплового режиму;
- забезпечення механічної міцності;
- технологічності конструкції та ремонтпридатності.

1.1.1 Забезпечення нормального теплового режиму

Ураховуючи мету даного курсового проєкту, зосередимося саме на проблемі забезпечення нормального теплового режиму. Його поділяють на два етапи.

1. Забезпечення нормального теплового режиму (початковий етап)

– на цьому етапі слід провести первинне оцінювання теплового режиму блока, що розроблюється, для чого необхідно обчислити сумарну розсіювану потужність усіх елементів конструкції та визначити питому густину теплового потоку q (Вт/см²), що виходить з поверхні приладу, який працює тривалий час;

– необхідно вибрати тип кожуха (герметичний, перфорований, із фланцями притокової або відтокової системи примусового охолодження або іншими рішеннями), уточнити розміри корпусу;

– слід вибрати оптимальний або раціональний тип системи охолодження за найгіршого варіанта дії навколишнього середовища.

2. Забезпечення нормального теплового режиму (оптимізаційні дії):

– усі компоненти з малим рівнем теплового навантаження (густина теплового потоку яких не перевищує $q \leq 0,2 \text{ Вт/см}^2$) слід розташовувати рівномірно по компоновальному об'єму;

– теплочутливі елементи необхідно розташовувати нижче ніж теплонавантажені, щоб вони не потрапляли до газових теплових потоків, що піднімаються від нагрітих тіл, і додатково не нагрівались;

– усі теплонавантажені елементи доречно розташовувати разом і застосовувати для них окремі групові засоби охолодження (теплові труби, радіатори, вентилятори, електротермоохолоджувачі);

– для досягнення найкращого кондуктивного перенесення теплоти нагріті деталі слід монтувати на масивних теплопровідних елементах конструкції;

– для забезпечення ефективної конвекції конструктивно-функціональні вузли слід орієнтувати вертикально, дотримуючись необхідних зазорів між вузлами та корпусними елементами;

– для захисту теплочутливих елементів від променистих потоків тепла необхідно застосовувати захисні теплові екрани з полірованих матеріалів;

– у разі застосування примусового повітряного охолодження слід приділяти увагу заходам щодо зниження аеродинамічного опору конструкції повітропроводів і раціонального вибору вентилятора.

1.2 Вимоги щодо оформлення конструкторської документації

Орієнтовний обсяг текстової частини пояснювальної записки складає 50–60 сторінок формату А4, а графічної – 2–3 аркуші формату А1.

Усі матеріали проекту необхідно виконувати відповідно до вимог ЄСКД та ДСТУ (додаток Б): конструкторські документи – за ЄСКД, клас стандартів 2; текстова технічна документація за ДСТУ 3008:2015 (Документація. Звіти в галузі науки і техніки. Структура і правила оформлення).

Для основних конструкторських документів (ДСТУ 3321:2003) структура позначень має відповідати ГОСТ 2.201-2018.

Код класифікаційної характеристики присвоюють виробу або конструкторському документу за класифікатором виробів і конструкторських документів машинобудування та приладобудування (класифікатор ЄСКД).

Код класифікаційної характеристики має таку структуру:

XXX	X	XXX	XXX
Код організації розробника (П.І.Б)	Клас (1 – системи; 2 – пристрої та групи; 3 – пристрої, блоки; 4 – блоки та вузли; 5, 6 – вузли; 7, 8 – деталі)	Код класифікаційної характеристики вибирають за класифікатором ЄСКД	Порядковий номер розробки від 001 до 999

Наприклад, креслення деталі – двошарової печатної плати з металізацією отворів КрНУ7.102.001, складальне креслення конструктивно-функціонального вузла радіотехнічного виробу із застосуванням напівпровідникових компонентів КрНУ5.422.001СЧ, креслення схеми електричної принципіальної для згаданого вище функціонального вузла КрНУ5.422.001ЕЗ.

Таблицю кодів класифікаційної характеристики виробів електронної техніки надано у додатку Г.

Позначення конструкторського документа (пояснювальна записка, складальні, габаритні, монтажні та електромонтажні креслення, креслення загального вигляду, схеми, експлуатаційні документи та ін.) мають складатися з позначення основного документа (специфікація або креслення деталей) та коду документа, встановленого стандартами ЄСКД – ДСТУ 3321:2003, ГОСТ 2.701-2008.

Зміст, розміщення та розміри граф основних написів, а також розміри рамок на кресленнях і схемах мають відповідати формі 1, а у текстових документах – формі 2 та 2а за ДСТУ 2.104:2006.

1.3 Вимоги щодо оформлення графічної частини КП

Зміст, обсяг і формати графічного матеріалу узгоджуються з керівником курсового проєктування.

Креслення проєкту виконуються засобами САПР. Схеми та креслення виконують із застосуванням формату А1 або А2. На кожному кресленні має бути основний напис за ДСТУ 2.104:2006.

Необхідно, щоб разом з електричною принциповою схемою був виконаний перелік елементів, а зі складальним кресленням – специфікація. Їх розміщують у додатках до пояснювальної записки.

Позначення креслень (окрім креслень деталей) мають складатися з позначення основного документа (креслення деталі або специфікації) та коду (шифру) документа.

За ГОСТ 2.701-2008 код схеми має складатися з літерної (що визначає вид схеми) та цифрової (тип схеми) частин.

Для креслень установлені такі шифри (ДСТУ 3321:2003):

- складальне креслення – СК;
- габаритне креслення – ГК;
- монтажне креслення – МК.

Для схем електричних:

- структурна схема – Е1;
- функціональна схема – Е2;
- принципова схема – Е3;
- монтажна схема – Е4.

Під час виконання креслень необхідно грамотно проставляти розміри з наведенням допусків і показників шорсткості поверхонь, оскільки вони є пов'язаними з вибраною технологією виготовлення виробу.

1.3.1 Граничні відхилення

Креслення деталі повинно містити вичерпні дані щодо конфігурації предмета та інші відомості, що є необхідними для його виготовлення та

контролю. До них належать, наприклад, розміри та їх граничні відхилення, допуски на форму та розміщення отворів, шорсткість, покриття, вил обробки, матеріал та ін.

Нанесення розмірів і граничних відхилень здійснюють за ГОСТ 2.307-2011 ЄСКД, який установлює загальні правила. Для цього студентів необхідно самостійно вирішити питання вибору розмірних баз та узгодження розмірів на кресленні з відповідними розмірами спряжених деталей. Граничні відхилення лінійних розмірів визначають за стандартами ДСТУ ISO 286-1-2002, ДСТУ 2500-94.

Якщо граничні розміри задають числовими значеннями, верхні граничні відхилення розташовують праворуч над значенням розміру ($5^{+0,12}$), нижні – праворуч під значенням розміру ($17_{-0,18}$), симетричні – за значенням розміру ($40 \pm 0,37$). Граничні відхилення, що дорівнюють нулю не позначаються.

За умови багаторазового повторення граничні відхилення розмірів 12-го та більш грубих квалітетів допустимо зазначити загальним записом у технічних умовах. Наприклад: «Не вказані граничні відхилення розмірів: отворів – за Н14, валів – за h14».

Допуски форми (непрямолінійність, овальність тощо) і розташування поверхонь (непаралельність, неперпендикулярність та ін.) слід позначати відповідно до ГОСТ 2.308-2011 ЄСКД. Технічні вимоги щодо форми деталі припустимо відображати на кресленні у вигляді знаків і вказівок або пояснювальних текстів.

1.3.2 Шорсткість поверхонь

Шорсткість поверхонь позначається за ДСТУ ISO 4287:2012. Для певного виду обробки існує оптимальний клас шорсткості. Так, відрізання різцем, фрезою забезпечують 3-й клас шорсткості поверхні за ДСТУ 25142:2009; фрезерування – 6-й; свердлення отворів діаметром до 15 мм – 4-й, більше, ніж 15 мм – 3-й; точіння – 7-й; холодне штампування деталей простих форм з порожниною – 6-й – 8-й; вирубання плоских деталей – 5-й і 6-й.

Вибирати параметри шорсткості поверхонь слід з урахуванням функціонального призначення спряження та вимог експлуатації даної поверхні.

У промисловій практиці для окремих поверхонь спряження та вільних поверхонь застосовують такі класи шорсткості:

– для поверхонь рознімання герметичних корпусів (без прокладок) – 7-й і 8-й;

– для негерметичних корпусів – 4-й і 5-й;

– для неробочих поверхонь осей та валів – 4-й і 5-й;

– для канавок, фасок, виточок, зенківок та ін. – 4–6-й;

– для прохідних отворів під болти, гвинти, заклепки та ін. – 3-й;

– для кромek деталей під зварювальні шви – 1-й і 2-й;

– для підшов корпусів – 3-й і 4-й;

– для поверхонь органів керування (рукояток, штурвалів, кнопок тощо), показчиків, таблиць та інших поверхонь, що потребують обробки – 7–9-й (з поліруванням або покриттям);

– для поверхонь, до яких висувають високі вимоги відносно зовнішнього вигляду – 5-й та 6-й;

– для поверхонь дрібних і середніх деталей – 4–6-й;

– для невидимих під час зовнішнього огляду вільних поверхонь – 1–3-й.

2 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Виконання курсового проєкту передбачає декілька етапів, послідовність виконання яких має відповідати алгоритму, запропонованому у методичних рекомендаціях. Це забезпечить мінімізацію кількості ітераційних кроків, що мають бути виконаними під час проєктування.

2.1 Вибір типу охолодження пристрою

Для вибору способу охолодження насамперед необхідні такі дані:

- сумарна потужність, що розсіюється у блоці P ;
- діапазон можливих змін температури навколишнього середовища T_{min} , T_{max} ;

- межі зміни тиску навколишнього середовища p_{min} , p_{max} ;
- термін безперервної роботи τ ;
- допустимі температури елементів T_i ;
- орієнтовне значення маси (ваги) блока.

Окрім того, необхідно задати:

- коефіцієнт заповнення апарата:

$$K_3 = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n V_i,$$

де V_i – об'єм i -го елемента РЕА; n – кількість елементів у будові РЕА; V – об'єм, який займає РЕА.

- горизонтальні та вертикальні розміри корпусу РЕА відповідно l_1 , l_2 та l_3 або для «великих» елементів – величину охолоджуваної поверхні S_p .

Коефіцієнт заповнення апарата характеризує ступінь корисного використання об'єму та є одним з головних показників якості конструкції. Коефіцієнт заповнення апарата має бути заданим у ТЗ або може вибраний на підставі досвіду проєктування подібних РЕА. Основні розміри корпусу РЕА

можливо визначити наближеними розрахунками компоновки РЕА (розрахункове завдання з навчальної дисципліни «Фізико-теоретичні основи конструювання»).

Цих вихідних даних замало для детальних розрахунків температурного режиму, але їх достатньо для попереднього оцінювання. Вибір системи охолодження на ранній стадії конструювання часто є ймовірнісним, тобто дає можливість оцінити ймовірність забезпечення потрібного температурного режиму РЕА за вибраного способу охолодження, а також ті зусилля, яких потребує розробка майбутньої конструкції РЕА з урахуванням забезпечення теплового режиму, передбаченого у ТЗ.

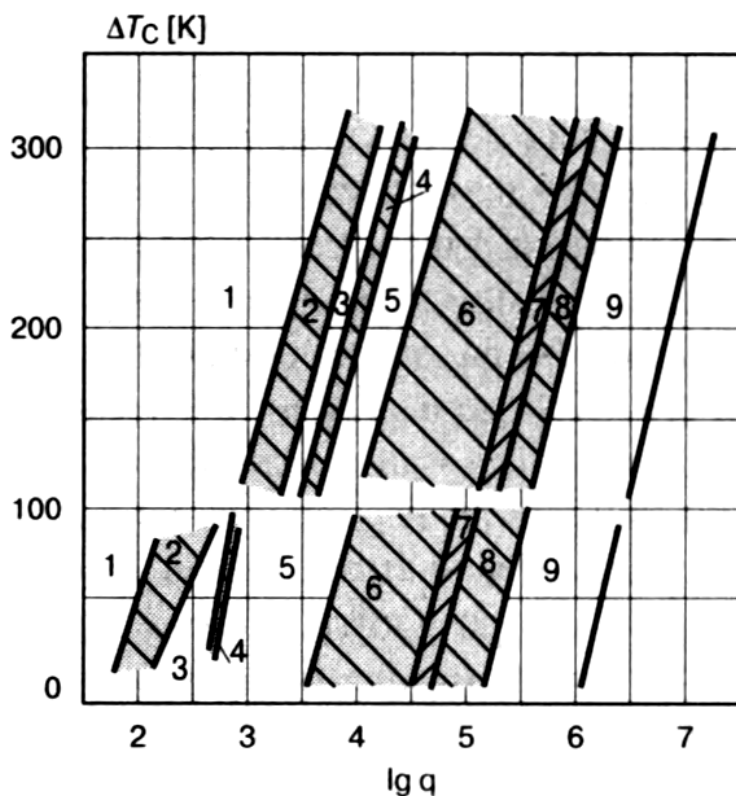


Рисунок 2.1 – Области доцільного застосування різних способів охолодження

Вибір способу охолодження РЕА можливо виконати за допомогою графіків (рис. 2.1), що характеризують області доцільного застосування різних способів охолодження. Наведемо алгоритм застосування цих графіків з використанням даних ТЗ.

Термін неперервної роботи τ є необхідним для оцінювання режиму роботи, оскільки області доцільного застосування різних способів охолодження побудовані лише для довготривалого режиму роботи РЕА, як такого, що найчастіше зустрічається на практиці. Якщо ж РЕА працюватиме у короткочасному або періодичному режимі, то наведені далі методи будуть малоприматними.

Границі зміни тиску навколишнього середовища є необхідними з огляду виявлення мінімального тиску, за якого працюватиме РЕА. Наведені далі методи визначення способу охолодження РЕА передбачають її роботу в умовах нормального атмосферного тиску. Визначення режимів охолодження за умови роботи РЕА за пониженого тиску розглянуто окремо.

Розміри корпусу та коефіцієнт заповнення застосовуються для визначення умовної величини поверхні теплообміну $S_n = 2[l_1 l_2 + (l_1 + l_2)l_3 K_3]$.

Коли спосіб охолодження вибирають для великого елемента, то величину поверхні теплообміну визначають з відповідних креслень за геометричними розмірами поверхні, що перебуває у безпосередньому контакті з теплоносієм.

Як основний показник, що визначає області доцільного застосування різних способів охолодження, прийнято величину густини теплового потоку, що проходить поверхнею теплообміну:

$$q = \frac{PK_p}{S_n},$$

де P – сумарна потужність, що розсіюється РЕА з поверхні теплообміну; K_p – коефіцієнт, що враховує тиск повітря (за атмосферного тиску $K_p = 1$).

Другим показником є мінімально допустиме перегрівання елементів РЕА:

$$\Delta T_c = T_{min} - T_c$$

де T_{min} – допустима за ТЗ температура корпусу найменш теплостійкого елемента, тобто елемента, для якого допустима температура є мінімальною; для великих елементів це є допустима температура охолоджуваної поверхні; T_c – температура навколишнього середовища; для природного охолодження $T_c = T_{cmax}$, тобто відповідає максимальній робочій температурі, заданій у ТЗ; для примусового охолодження $T_c = T_{ex}$, тобто відповідає температурі повітря (рідини) на вході до РЕА.

На рис. 2.1 області доцільного застосування різних способів охолодження наведені у координатах ΔT_c , lgq . Маємо два типи областей. Області, у яких можливо рекомендувати лише один певний спосіб охолодження, та області, у яких можливе застосовування двох або трьох способів охолодження.

Області першого типу не заштриховані і належать до таких способів охолодження: 1 – природне повітряне; 3 – примусове повітряне; 5 – примусове рідинне; 9 – примусове випарне.

Області другого типу є заштрихованими: 2 – можливе застосування природного та примусового повітряного; 4 – можливе застосування примусового повітряного та рідинного; 6 – можливе застосування примусового рідинного та природного випарного; 7 – можливе застосування примусового рідинного, природного та примусового випарного; 8 – можливе застосування природного та примусового випарного.

Слід зауважити, що верхні криві на рис. 2.1, які відповідають $T_c > 373$ К (100°C), зазвичай застосовують для вибору способів охолодження великих елементів, оскільки допустимі температури їх охолоджуваних поверхонь частот перевищують 373 К. Нижні криві застосовують для вибору режиму охолодження блоків, стійок та ін., виконаних на дискретних і мікромініатюрних елементах, оскільки для них зазвичай $T_c < 373$ К. Саме тому області доцільного застосування різних способів охолодження у верхній частині графіка не є продовженням відповідних кривих нижньої частини. Останнє зумовлено також тим, що під час охолодження розгалужених поверхонь великих елементів можливо одержати вищі ефективні коефіцієнти тепловіддачі.

Якщо показники ΔT_c і $\lg q$ розглянутого РЕА потрапляють у незаштриховані області рис. 2.1, то вибір певного режиму охолодження здійснюється одразу. Якщо ж ці показники опиняються у заштрихованих областях, то остаточний вибір одного з можливих способів охолодження здійснюється за допомогою додаткових графіків.

Найповнішою є розробка задачі вибору способу охолодження для області 2, оскільки на сьогодні найбільший досвід накопичений саме для систем повітряного охолодження. Розглянемо порядок вибору способу охолодження РЕА, показники ΔT_c , $\lg q$ якої припали на область 2 рис. 2.1.

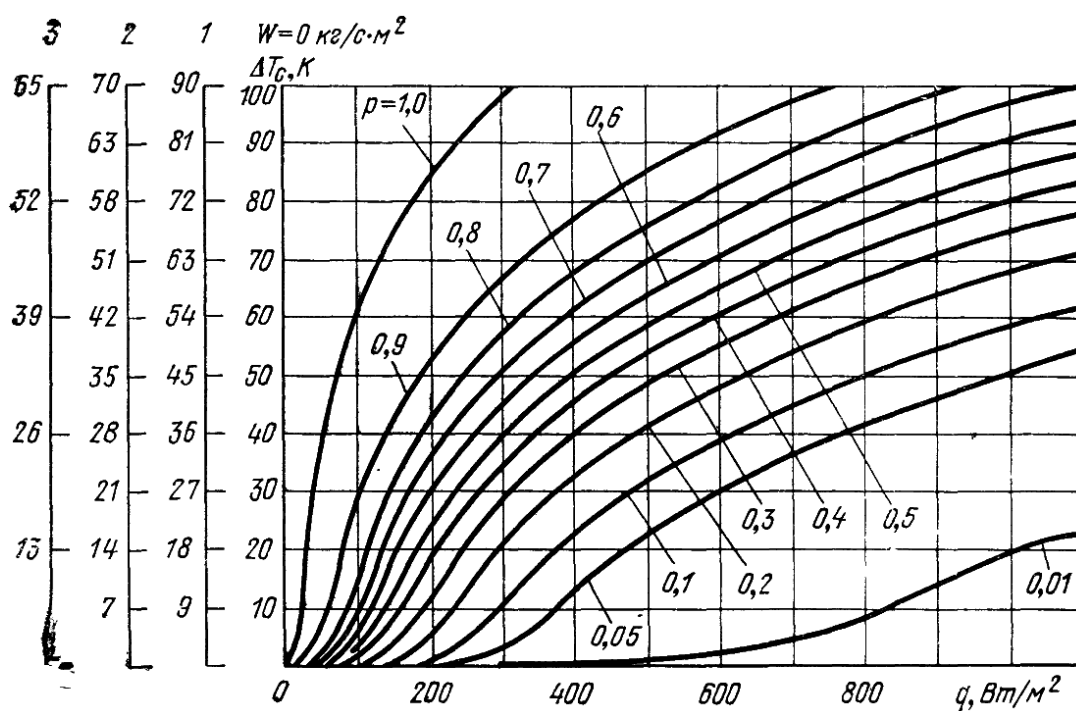


Рисунок 2.2 – Імовірнісні криві для РЕА у герметичному кожусі з природним повітряним охолодженням і внутрішнім перемішуванням

Для цього побудовані допоміжні графіки (рис. 2.2–2.5) пристосовані для дискретних і мікромініатюрних елементів. На осях координат графіків відкладені показники РЕА, причому на осі ординат (рис. 2.2) відкладені чотири шкали для різних питомих масових витрат (на одиницю площі перерізу) примусового руху повітря:

$W = 0$ – природне охолодження;

$W = 1-3 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ – примусове внутрішнє перемішування повітря.

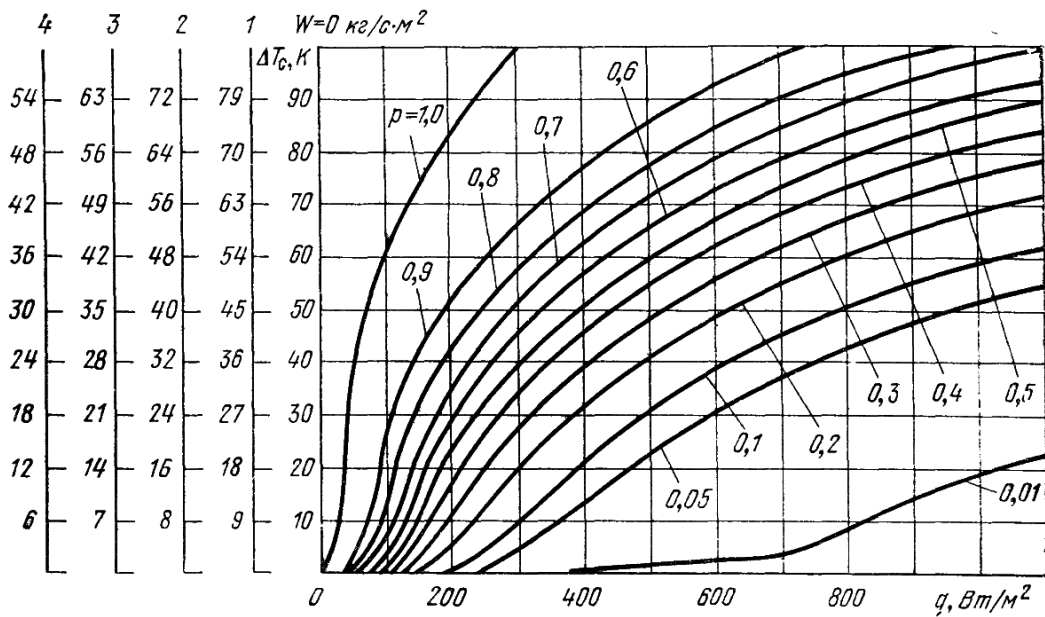


Рисунок 2.3 – Імовірнісні криві для РЕА у герметичному кожусі з природним повітряним охолодженням і зовнішнім обдуванням

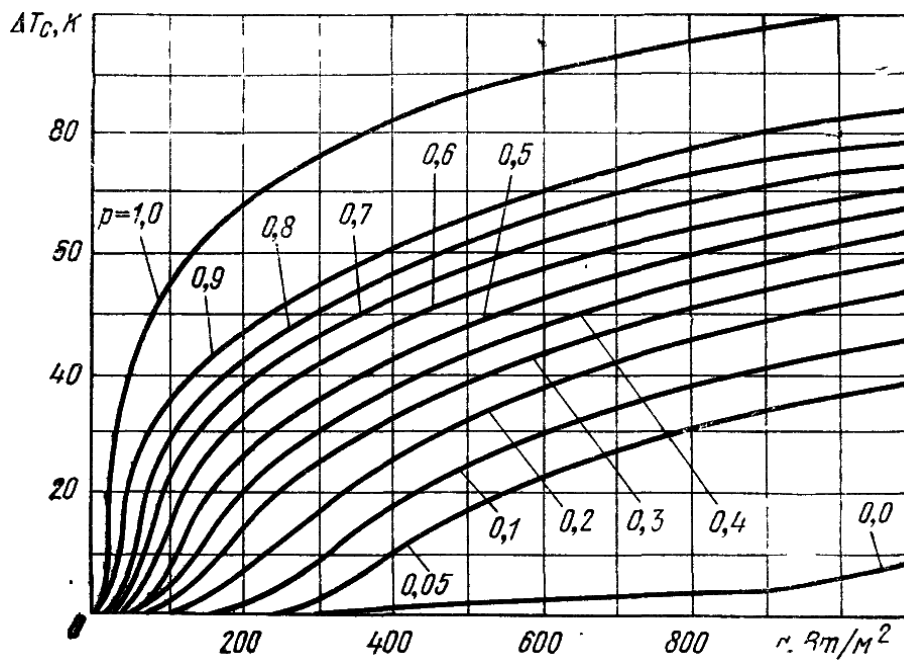


Рисунок 2.4 – Імовірнісні криві для РЕА з природним повітряним охолодженням у перфорованому кожусі

На графіку наведені різні криві, що відповідають ймовірностям $p = 0,01$ – $1,0$. За графіком можливо встановити для РЕА з показниками ΔT_c і $\lg q$ ймовірність, із якою тепловий режим відповідатиме заданому у ТЗ, якщо повітряне охолодження буде природним, або з внутрішнім перемішуванням у герметичному кожусі.

Наприклад, для РЕА з показниками $q = 600$ Вт, $\Delta T_c = 60$ К за природного повітряного охолодження у герметичному кожусі ймовірність забезпечення теплового режиму дорівнює 0,4, а за внутрішнього перемішування повітря з питомими витратами 2 кг/(с·м²) імовірність забезпечення теплового режиму дорівнює 0,7.

Аналогічні графіки, але для РЕА у герметичному кожусі з природним повітряним охолодженням і зовнішнім обдуванням, наведено на рис. 2.3.

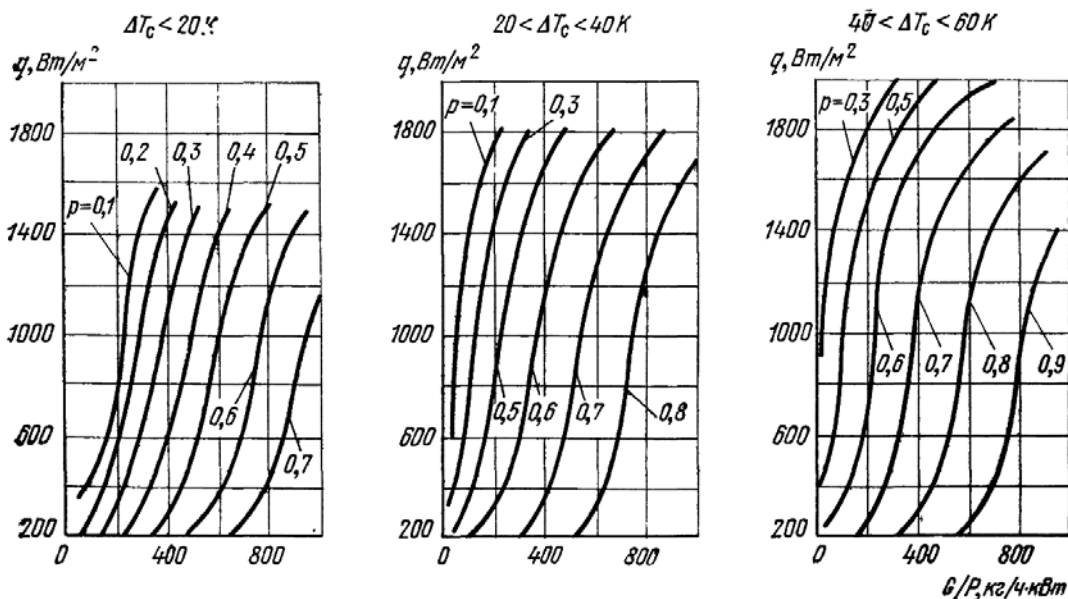


Рисунок 2.5 – Імовірнісні криві для РЕА з примусовим охолодженням продуванням повітрям

Подібні графіки для інших способів повітряного охолодження зображено на рис. 2.4 та 2.5. Особливістю рис. 2.5 є наявність додаткового показника – масові витрати повітря на одиницю розсіяної РЕА потужності:

$$g = G / 10^{-3} P.$$

Витрати повітря або задаються у ТЗ, або ж їх визначають за прийнятими на сьогодні наближеними оцінками:

– за умови раціонального конструювання можливо забезпечити необхідний тепловий режим при $g = 180\text{--}250$ кг/год·кВт;

– для стаціонарної апаратури, де нема надзорських вимог до масогабаритних та енергетичних параметрів СЗТР, цей показник може бути збільшений до $g = 250\text{--}350$ кг/год·кВт.

Під час конструювання конкретної РЕА конструктор повинен забезпечити виконання багатьох, здебільшого суперечливих, вимог. Імовірнісна оцінка за наведеною вище методикою надає можливість оцінити: яку увагу конструктор має приділити одній із цих вимог, а саме – забезпеченню нормального теплового режиму.

Вибираючи спосіб охолодження, слід дотримуватися таких рекомендацій:

– якщо точка із заданими параметрами на одному з графіків (рис. 2.2–2.5) опиниться в області ймовірності $p \geq 0,8$, то можна вибирати цей спосіб охолодження;

– якщо точка опиниться в області з ймовірністю $0,8 \geq p \geq 0,3$, то можна вибирати цей спосіб охолодження, але під час конструювання РЕА забезпеченню нормального теплового режиму слід приділяти тим більше уваги, чим менша ймовірність;

– за ймовірнісної оцінки $0,3 > p > 0,1$ не рекомендується вибирати цей спосіб охолодження, оскільки за таких умов для забезпечення теплового режиму доведеться йти на збільшення габаритів, маси та енергоспоживання всього апарата;

– за ймовірнісної оцінки $0,1 > p \geq 0,05$ забезпечити нормальний тепловий режим вибраним способом вдається вкрай рідко, а при $p < 0,05$ – майже неможливо.

Розглянемо приклад застосування графіків (рис. 2.2–2.5). Нехай негерметичний блок РЕА має параметри:

$$P = 0,5 \text{ кВт}; \Delta T_c = 30 \text{ К}; q = 400 \text{ Вт/м}^2.$$

Режим роботи – тривалий.

Тиск повітря, що оточує блок, – атмосферний.

Точка із заданими параметрами на графіку (рис. 2.1) припадає на область 2. Отже, можливими є як природне, так і примусове повітряне охолодження.

1. За кривими на рис. 2.4 визначаємо, що нормальний тепловий режим цього апарата може бути забезпеченим за природного охолодження і перфорованого кожуха з ймовірністю $p = 0,28$. Оскільки ймовірність є малою, то доречно вибрати примусове повітряне охолодження.

2. За рис. 2.5 для ймовірності $p = 0,6$ визначаємо потрібні для забезпечення нормального теплового режиму питомі витрати повітря:

$$g = G / 10^{-3} P = 240 \text{ кг/год} \cdot \text{кВт.}$$

Тоді:

$$G = g \cdot P = 240 \cdot 0,5 = 120 \text{ кг/год.}$$

Ці витрати повітря відповідають наданим вище рекомендаціям.

2.2 Урахування впливу зовнішнього тиску на режим охолодження

Як відомо, зниження тиску повітря погіршує умови теплообміну. Ступінь зростання питомої потужності для різних способів охолодження враховується коефіцієнтом K_p , уведеним у формулу показника q .

Коефіцієнт K_p урахує погіршення охолодження РЕА через зниження тиску тільки в умовах природної конвекції повітря; у герметичному корпусі зміни умов теплообміну за примусової конвекції слід урахувувати внаслідок змін масових витрат або швидкості повітря. Значення коефіцієнта K_p залежно від тиску, надано у табл. 2.1.

Часто для РЕА літаків, яка розміщується у негерметичних відсіках, для покращання умов охолодження застосовують наддув корпусів герметичних блоків. У таких випадках корпуси герметичних блоків з'єднуються між собою і приєднуються до відсіку або повітряної лінії підвищеного тиску, у результаті чого тиск усередині корпусів блоків (H_2) буде більшим, ніж тиск навколишнього середовища (H_1). У цьому випадку також можливо користуватися ймовірнісними графіками (рис. 2.2 або 2.3) при $W = 0$. Коефіцієнти K_p залежно від тиску всередині блока (H_2) та зовні (H_1) наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти K_p , що враховують вплив зниженого тиску на тепловий режим герметичного блока за $H_1 \sim H_2$

$H \cdot 10^5 \text{ Па}$	0,67	0,53	0,4	0,27	0,13	0,11	0,08	0,05	0,03	0,007
K_p	1,08	1,12	1,19	1,26	1,35	1,38	1,40	1,44	1,47	1,51

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти K_p , що враховують вплив зниженого тиску на тепловий режим герметичного блока за $H_1 \neq H_2$

$H_2 \cdot 10^5 \text{ Па}$	$H_1 \cdot 10^5 \text{ Па}$									
	0,67	0,53	0,4	0,27	0,13	0,11	0,08	0,05	0,03	0,007
0,75	1,06	1,09	1,13	1,17	1,25	1,28	1,30	1,33	1,35	1,38
0,61		1,11	1,15	1,19	1,26	1,29	1,31	1,33	1,36	1,38
0,27				1,26	1,32	1,34	1,36	1,39	1,40	1,43
0,13					1,35	1,37	1,40	1,42	1,45	1,46

Для оцінювання теплового режиму РЕА у герметичному блоці з внутрішнім перемішуванням і зниженим тиском повітря застосовують графіки рис. 2.2 при $W \neq 0$. Зміну тиску повітря всередині блока враховувати не слід, а от вплив зниженого тиску навколишнього середовища (H_1) на тепловий режим ураховується коефіцієнтом K_p , значення якого надано у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти K_p , що враховують вплив зниженого тиску на тепловий режим герметичного блока з внутрішнім перемішуванням

$W, \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$	$H_1 \cdot 10^5 \text{ Па}$									
	0,67	0,53	0,4	0,27	0,13	0,11	0,08	0,05	0,03	0,007
1	1,05	1,09	1,13	1,22	1,35	1,41	1,47	1,53	1,61	1,73
2	1,07	1,10	1,16	1,25	1,40	1,48	1,54	1,61	1,70	1,85
3	1,08	1,12	1,18	1,30	1,48	1,55	1,64	1,72	1,85	2,02

Для оцінювання теплового режиму РЕА у герметичному корпусі із зовнішнім обдуванням і за зниженого тиску повітря всередині блока застосовують графіки рис. 2.3 при $W \neq 0$. Вплив зниженого тиску на тепловий режим усередині корпусу (H_2) враховується коефіцієнтом K_p , значення якого надано у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти K_p , що враховують вплив зниженого тиску на тепловий режим герметичного блока із зовнішнім обдувом

$W, \frac{кг}{м^2 \cdot с}$	$H_1 \cdot 10^5 \text{ Па}$									
	0,67	0,53	0,4	0,27	0,13	0,11	0,08	0,05	0,03	0,007
	0,67	0,53	0,4	0,27	0,13	0,11	0,08	0,05	0,03	0,007
1 – 2	1,03	1,06	1,10	1,16	1,24	1,28	1,30	1,35	1,37	1,39
3 – 4	1,05	1,09	1,15	1,22	1,32	1,35	1,38	1,45	1,48	1,51

Для оцінювання теплового режиму РЕА з природним охолодженням у перфорованому кожусі за зниженого тиску слід застосовувати ймовірнісні графіки рис. 2.4 із використанням значень коефіцієнта K_p , поданих у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Коефіцієнти K_p , що враховують вплив зниженого тиску на тепловий режим блоків з перфорованим корпусом

$H \cdot 10^5 \text{ Па}$	0,67	0,53	0,4	0,27	0,13	0,11	0,08	0,05	0,03	0,007
K_p	1,07	1,19	1,28	1,36	1,60	1,67	1,76	1,87	2,02	2,17

Значення коефіцієнтів з табл. 2.5 слід застосовувати і для врахування дії зниженого тиску під час вибору способу охолодження за рис. 2.1.

Розглянемо приклад вибору способу повітряного охолодження РЕА за зниженого тиску повітря.

Вихідні дані:

– блок працює у довготривалому режимі у негерметичному відсіку літака ($H = 5 \cdot 10^4 \text{ Па}$, або 40 мм рт. ст.);

– параметри блока $q = 500 \text{ Вт/м}^2$; $\Delta T_c = 50 \text{ К}$.

1. За допомогою табл. 2.3 визначимо:

$$q^I = K_p \cdot q = 1,87 \cdot 500 = 935 \text{ Вт/м}^2.$$

2. За кривими рис. 2.1 визначимо, що параметри блока містяться на границі областей 2 та 3. Отже, для охолодження блока необхідно вибирати примусове

повітряне охолодження. Але перевіримо можливість застосування природного повітряного охолодження.

3. За кривими рис. 2.2 при $W = 0$ перевіримо можливість застосування герметичного корпусу без наддуву та з наддувом. З урахуванням табл. 2.1:

$$q^{II} = K_p \cdot q = 1,44 \cdot 500 = 720 \text{ Вт/м}^2,$$

що відповідає на рис. 2.2 ймовірності $p = 0,15$, і відповідно до наданих раніше рекомендацій, цей спосіб охолодження вибирати не слід.

4. Застосування наддуву не призведе до суттєвого покращання умов охолодження, оскільки максимальне значення коефіцієнта $K_p = 1,33$ (табл. 2.2), а розрахунковий параметр:

$$q^{III} = K_p \cdot q = 1,33 \cdot 500 = 665 \text{ Вт/м}^2,$$

що відповідає на рис. 2.2 ймовірності $p = 0,2$.

5. Застосування внутрішнього перемішування зі швидкостями повітря $W = 2 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$ та $W = 3 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$ відповідає (з урахуванням табл. 2.3):

$$q^{IV} = K_p \cdot q = 1,61 \cdot 500 = 805 \text{ Вт/м}^2,$$

$$q^V = K_p \cdot q = 1,72 \cdot 500 = 860 \text{ Вт/м}^2,$$

що за рис. 2.2 забезпечує тепловий режим блока з імовірністю $p = 0,3$ та $p = 0,5$, відповідно. Отже, цей спосіб забезпечення теплового режиму може бути використаний. Однак для одержання необхідної швидкості внутрішнього перемішування повітря може знадобитися наддув. Для вирішення цього питання необхідно розрахувати режими роботи вентиляторів, що застосовуються для внутрішнього перемішування повітря у блоці за заниженого тиску.

6. Перевіримо можливість застосування зовнішнього обдування. За рис. 2.3 при $W = 3\text{--}4 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$ з урахуванням табл. 2.4:

$$q^{VI} = K_p \cdot q = 1,45 \cdot 500 = 725 \text{ Вт/м}^2,$$

тоді за рис. 2.3 ймовірність забезпечення теплового режиму блока знаходиться у межах $p = 0,43\text{--}0,45$. Отже, цей спосіб охолодження також може бути прийнятним.

7. Якщо застосувати охолодження блока продуванням холодного повітря, то за рис. 2.5 матимемо, що при $g = 300 \text{ кг/год}\cdot\text{кВт}$ тепловий режим блока забезпечуватиметься з імовірністю $p = 0,7$.

8. І нарешті, якщо застосувати перфорований корпус, то за рис. 2.4 та табл. 2.5, тепловий режим блока забезпечуватиметься з імовірністю $p = 0,22$.

Висновки

1. Якщо за умовами експлуатації, блок може бути виконаним у герметичному корпусі, то необхідно вибирати примусове повітряне охолодження з внутрішнім перемішуванням або із зовнішнім обдуванням. Якщо здійснення примусового охолодження неможливе, то для застосування природного охолодження, навіть за наявності обдування, необхідно або збільшувати розміри блока; або зменшувати розсіяну потужність; або ж знижувати температуру навколишнього середовища, що, безумовно, погіршить показники блока в цілому і зумовить значні складнощі.

2. Якщо за умовами експлуатації блок може бути виконаний у негерметичному корпусі, то з більшою ймовірністю забезпечити нормальний тепловий режим можливо із застосуванням примусового охолодження з продуванням холодного повітря. Цей спосіб найефективніший серед усіх розглянутих вище.

2.3 Визначення товщини стінки кожуха РЕА

Товщину стінки кожуху, при якій виконуються умови теплообміну та міцності, визначається формулою:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{0,0284 G_S l_1^4}{E \Delta (1 + 1,056 \frac{l_1}{l_2})}}$$

де G_S – навантаження, розподілене за площею, кГ/см²; l_1 та l_2 – розміри стінки кожуха, см; Δ – допустимий вигин, см; E – модуль пружності, кГ/см².

Приклад 2.1 Визначити товщину матеріалу стінки алюмінієвого кожуха при $l_1 = 250$ мм, $l_2 = 500$ мм, $G_S = 2$ кГ/см², $\Delta = 2,5$ мм.

1. Визначимо товщину стінки кожуха, за якої виконуються умови теплообміну та міцності за формулою:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{0,0284 \cdot 2 \cdot 25^4}{0,7 \cdot 10^6 \cdot 0,25 \cdot (1 + 1,056 \cdot \frac{25}{50})}} = 0,23 \text{ см.}$$

Вибираємо товщину матеріалу кожуха $h = 2,5$ мм.

2.4 Розрахунки теплового режиму блока РЕА

Після того, як у попередніх розділах було вибрано режим охолодження блока та геометричні параметри його кожуха, необхідно перевірити відповідність одержаного за таких умов теплового режиму вимогам технічного завдання. Зазначену перевірку доречно виконувати за методикою, викладеною у [6, 7]. Для перевірки вибирають найкритичніший з огляду температурних вимог елемент схеми та обчислюють його температурний режим. Якщо він відповідатиме технічним вимогам, то вибраний попередньо режим охолодження буде прийнятний, якщо ж ні, то необхідно повернутися до розділів 2.1–2.3 цих методичних рекомендацій і внести відповідні корективи.

2.4.1 Порядок розрахунків теплового режиму блока у герметичному кожусі

1. Розраховуємо поверхню корпусу блока (рис. 2.6) за формулою:

$$S_K = 2[l_1 l_2 + (l_1 + l_2)l_3]. \quad (2.1)$$

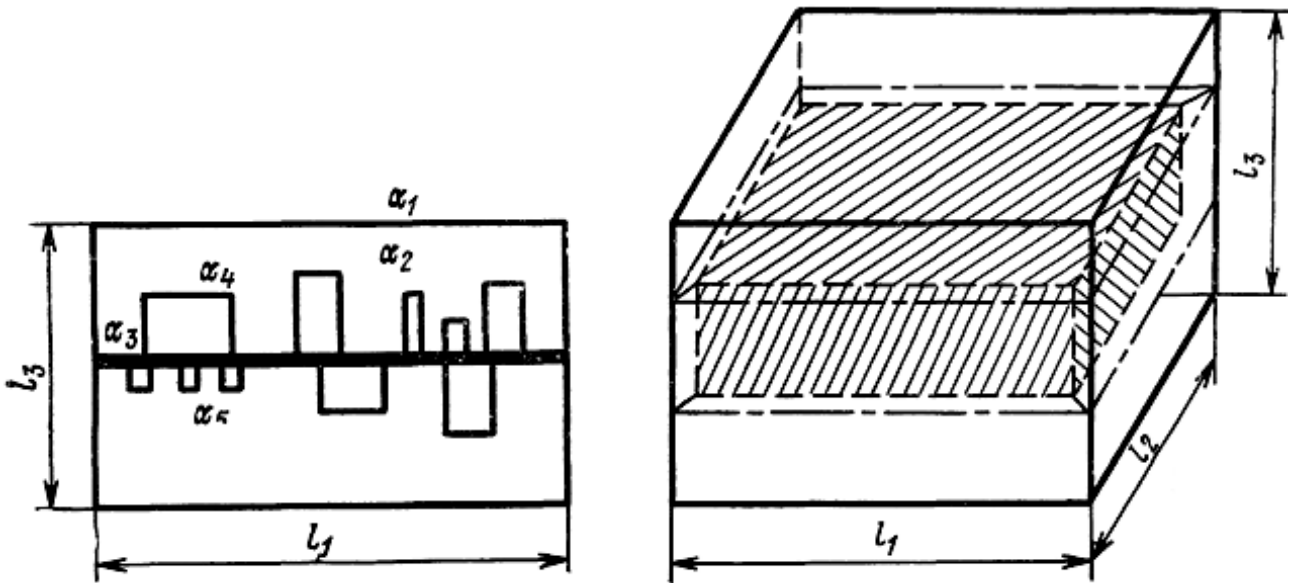


Рисунок 2.6 – Схеми блока у герметичному виконанні

2. Визначаємо умовну поверхню нагрітої зони за формулою:

$$S_3 = 2[l_1 l_2 + (l_1 + l_2)l_3 K_3], \quad (2.2)$$

де l_1, l_2 – горизонтальні розміри корпусу апарата; l_3 – вертикальний розмір корпусу апарата; K_3 – коефіцієнт заповнення.

3. Визначаємо питому потужність корпусу блока:

$$q_K = \frac{P_3}{S_K}, \quad (2.3)$$

де P_3 – потужність, що розсіюється нагрітою зоною.

4. Обчислюємо питому потужність нагрітої зони:

$$q_3 = \frac{P_3}{S_3}, \quad (2.4)$$

5. Визначаємо коефіцієнт ϑ_1 залежно від питомої потужності корпусу блока (рис. 2.7).

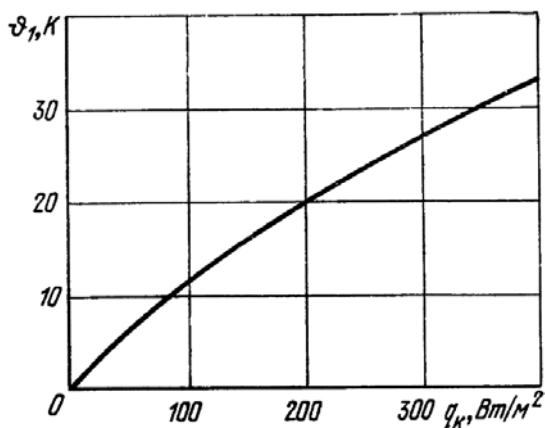


Рисунок 2.7 – Залежність перегрівання корпусу від питомої

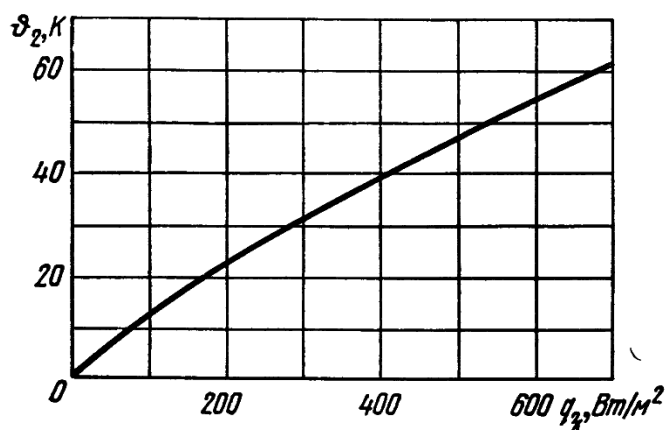


Рисунок 2.8 – Залежність перегрівання нагрітої зони від питомої потужності розсіяння

6. Визначаємо коефіцієнт ϑ_2 залежно від питомої потужності нагрітої зони (рис. 2.8).

7. Визначаємо коефіцієнт K_{H1} залежно від тиску середовища поза межами корпусу блока H_1 (рис. 2.9).

8. Визначаємо коефіцієнт K_{H2} залежно від тиску середовища всередині корпусу блока H_2 (рис. 2.10).

9. Визначаємо перегрівання корпусу блока:

$$\vartheta_k = \vartheta_1 K_{H1}. \quad (2.5)$$

10. Обчислюємо перегрівання нагрітої зони:

$$\vartheta_3 = \vartheta_k + (\vartheta_k - \vartheta_1) K_{H2}. \quad (2.6)$$

11. Обчислюємо середнє перегрівання повітря у блоці:

$$\vartheta_B = 0,5(\vartheta_K + \vartheta_3). \quad (2.7)$$

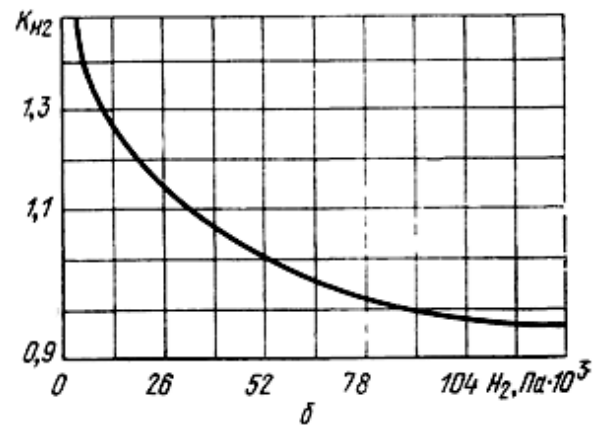
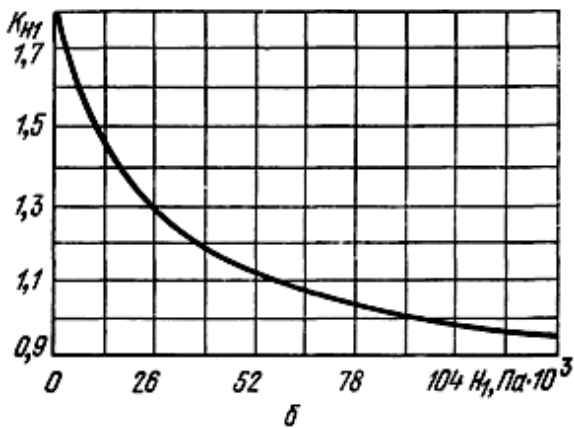
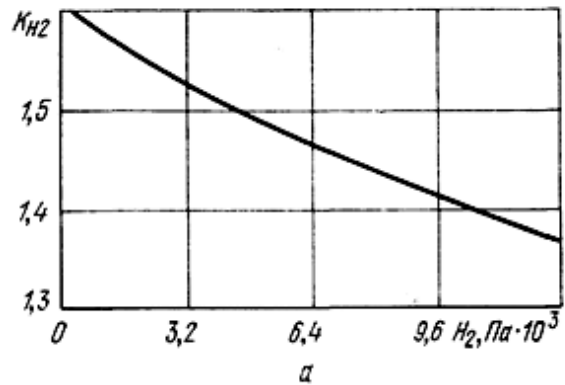
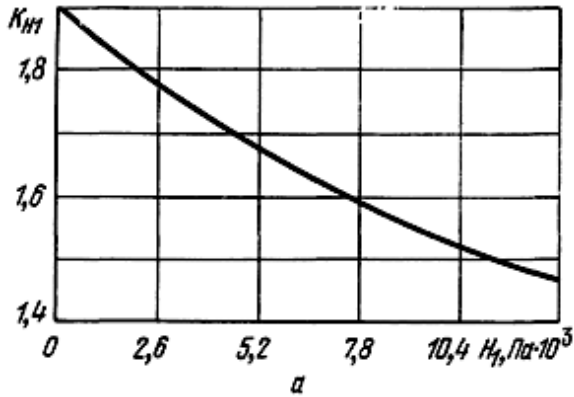


Рисунок 2.9 – Залежність K_{H1} від тиску навколишнього середовища:
 $a - 0 \leq H_1 \leq 13 \cdot 10^3 \text{ Па}$
 $b - 0 \leq H_1 \leq 130 \cdot 10^3 \text{ Па}$.

Рисунок 2.10 – Залежність K_{H2} від тиску всередині апарата:
 $a - 0 \leq H_2 \leq 12,8 \cdot 10^3 \text{ Па}$
 $b - 0 \leq H_2 \leq 130 \cdot 10^3 \text{ Па}$.

12. Визначаємо питому потужність елемента:

$$q_{ел} = \frac{P_{ел}}{S_{ел}}, \quad (2.8)$$

де $P_{ел}$ – потужність, що розсіюється елементом, температуру якого потрібно знайти.

13. Розраховуємо перегрівання поверхні елементів за співвідношенням:

$$\vartheta_{ел} = \vartheta_3(a + b \frac{q_{ел}}{q_3}), \quad (2.9)$$

де $\vartheta_3 = \Phi_3/\sigma_{3c}$; $q_{ел} = \Phi_{ел}/S_{ел}$; $q_3 = \Phi_3/S_3$; $\Phi_3, \Phi_{ел}$ – теплові потоки, що розсіюються нагрітою зоною та елементом, відповідно; σ_{3c} – теплова провідність між нагрітою зоною та навколишнім середовищем; $S_{ел}$ – площа поверхні елемента, яка віддає тепло (за наявності радіатора враховується і поверхня радіатора).

Величини коефіцієнтів a та b визначають за даними експерименту. Вони становлять: $a = 0,75$; $b = 0,25$.

14. Розраховуємо перегрів навколишнього середовища даного елемента:

$$\vartheta_{ec} = \vartheta_3(0,75 + 0,25 \frac{q_{ел}}{q_3}). \quad (2.10)$$

15. Визначаємо температуру корпусу блока:

$$T_k = \vartheta_k + T_c \quad (2.11)$$

де T_c – температура навколишнього середовища.

16. Визначаємо температуру нагрітої зони:

$$T_3 = \vartheta_3 + T_c \quad (2.12)$$

17. Визначаємо температуру поверхні елемента:

$$T_{ел} = \vartheta_{ел} + T_c \quad (2.13)$$

18. Визначаємо середню температуру повітря у блоці:

$$T_{ел} = \vartheta_{ел} + T_c \quad (2.14)$$

19. Визначаємо температуру середовища, що оточує елемент:

$$T_{\text{ел}} = \vartheta_{\text{ел}} + T_c \quad (2.15)$$

Перевіряємо значення температур, одержаних у п. 2.11–2.15 розрахунків, щодо відповідності вимогам технічного завдання і в разі перевищення хоча б одним з них зазначених вимог вносимо зміни або до геометричних розмірів блока, або до значень коефіцієнта його заповнення, або ж до вибраного режиму охолодження і повторюємо розрахунки з п. 2.1.

2.4.2 Порядок розрахунків теплового режиму блока у герметичному кожусі з внутрішнім перемішуванням

1. Розраховуємо поверхню корпусу блока за (2.1).
2. Визначаємо умовну поверхню нагрітої зони за (2.2).
3. Визначаємо питому потужність корпусу блока (2.3).
4. Обчислюємо питому потужність нагрітої зони за (2.4).
5. Визначаємо коефіцієнт ϑ_1 залежно від питомої потужності корпусу блока (рис. 2.7).
6. Визначаємо коефіцієнт ϑ_2 залежно від питомої потужності нагрітої зони (рис. 2.8).
7. Визначаємо коефіцієнт K_{H1} залежно від тиску середовища поза межами корпусу блока H_1 (рис. 2.9).
8. Розраховуємо об'єм повітря у блоці:

$$V_b = l_1 l_2 l_3 (1 - K_3) \quad (2.16)$$

9. Обчислюємо середню швидкість перемішування повітря у блоці за формулою:

$$w = a \frac{G_6}{V_6}, \quad (2.17)$$

де P_B – продуктивність вентилятора; P_B – об’єм повітря у апараті; $a = 0,6 \text{ м}^3/\text{кг}$ (за зниженого тиску повітря всередині корпусу блока до (2.17) має входити продуктивність вентилятора з урахуванням змін тиску).

10. Визначаємо коефіцієнт K_w залежно від середньої швидкості перемішування (рис. 2.12).

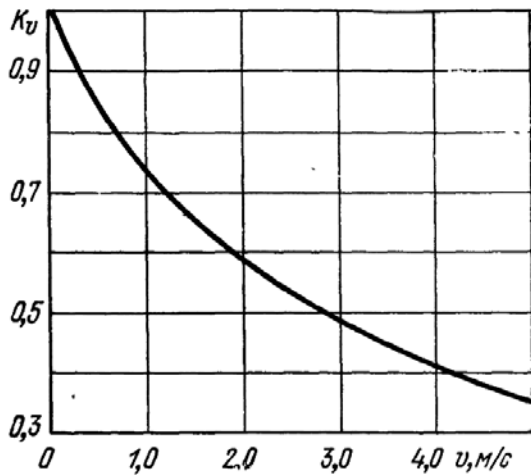


Рисунок 2.11 – Залежність K_v від швидкості обдування

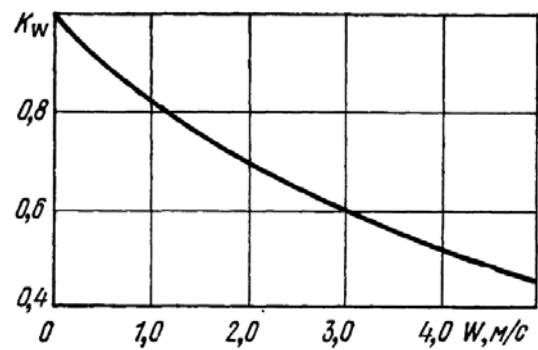


Рисунок 2.12 – Залежність K_w від швидкості перемішування

11. Визначаємо перегрівання корпусу блока за формулою:

$$\vartheta_k = \vartheta_1 K_{H1}. \quad (2.18)$$

12. Визначаємо перегрівання нагрітої зони:

$$\vartheta_3 = \vartheta_1 (K_{H1} - 1) + \vartheta_2 K_w. \quad (2.19)$$

13. Визначаємо середнє перегрівання повітря у блоці:

$$\vartheta_B = 0,75\vartheta_3. \quad (2.20)$$

14. Визначаємо питому потужність елемента за (2.8).

15. Обчислюємо перегрівання поверхні елемента за (2.9).

16. Обчислюємо перегрівання навколишнього середовища елемента за (2.10).

17. Визначаємо температуру корпусу блока за (2.11).

18. Визначаємо температури нагрітої зони, поверхні елемента, середню температуру повітря у блоці та температуру навколишнього середовища елемента за формулами (2.12)–(2.15).

Перевіряємо значення температур, одержаних за формулами (2.11)–(2.15) розрахунків, щодо відповідності вимогам технічного завдання і в разі перевищення хоча б одним з них зазначених вимог вносимо зміни або до геометричних розмірів блока, або до значень коефіцієнта його заповнення, або ж до вибраного режиму охолодження і повторюємо розрахунки з п. 2.1.

2.4.3 Порядок розрахунків теплового режиму блока у герметичному кожусі із зовнішнім обдуванням

1. Розраховуємо поверхню корпусу блока за (2.1).

2. Визначаємо умовну поверхню нагрітої зони за (2.2).

3. Визначаємо питому потужність корпусу блока (2.3).

4. Обчислюємо питому потужність нагрітої зони за (2.4).

5. Визначаємо коефіцієнт ϑ_1 залежно від питомої потужності корпусу блока (рис. 2.7).

6. Визначаємо коефіцієнт ϑ_2 залежно від питомої потужності нагрітої зони (рис. 2.8).

7. Визначаємо коефіцієнт K_{H_2} залежно від тиску середовища поза межами корпусу блока H_2 (рис. 2.10).

8. Визначаємо перегрів між нагрітою зоною та корпусом блока:

$$\vartheta_{21} = (\vartheta_2 - \vartheta_1) K_{H_2}. \quad (2.21)$$

9. Визначаємо перегрівання корпусу блока із зовнішнім обдуванням:

$$\vartheta_{\kappa} = \frac{q_{\kappa}}{12+4,17v}, \quad (2.22)$$

де v – швидкість обдування (за зниженим тиском до (2.22) має входити швидкість з урахуванням зміни тиску).

10. Знаходимо перегрівання нагрітої зони блока із зовнішнім обдувом:

$$\vartheta_3 = \vartheta_k + \vartheta_{21}. \quad (2.23)$$

11. Обчислюємо середнє перегрівання повітря у блоці за (2.20).

12. Обчислюємо питому потужність елемента, перегріву його поверхні та навколишнього середовища елемента за (2.8), (2.9), (2.10).

13. Визначаємо температури корпусу блока, нагрітої зони, поверхні елемента, повітря у блоці та температуру навколишнього середовища елемента за формулами (2.11)–(2.15).

Перевіряємо значення температур, одержаних за формулами (2.11)–(2.15) розрахунків, щодо відповідності вимогам технічного завдання і в разі перевищення хоча б одним з них зазначених вимог вносимо зміни або до геометричних розмірів блока, або до значень коефіцієнта його заповнення, або ж до вибраного режиму охолодження і повторюємо розрахунки з п. 2.1.

2.4.4 Порядок розрахунків теплового режиму блока у герметичному ребреному корпусі

1. Розраховуємо поверхню неорєбреного корпусу блока за (2.1).

2. Визначаємо умовну поверхню нагрітої зони, питому потужність неорєбреного корпусу блока, питому потужність нагрітої зони за формулами (2.2), (2.3), (2.4).

3. Визначаємо коефіцієнт ϑ_1 залежно від питомої потужності корпусу блока (рис. 2.7).

4. Визначаємо коефіцієнт ϑ_2 залежно від питомої потужності нагрітої зони (рис. 2.8).

5. Розраховуємо перегрівання між нагрітою зоною та корпусом неорєбреного блока:

$$\vartheta_{21} = \vartheta_2 - \vartheta_1. \quad (2.24)$$

6. Обчислюємо поверхню орєбреного корпусу блока:

$$S_{кр} = S_{кн} + S_p, \quad (2.25)$$

де $S_{кн}$ – поверхня корпусу, не зайнята ребрами; S_p – поверхня ребер.

7. Розраховуємо питому потужність орєбреного корпусу блока:

$$q_{кр} = \frac{P}{S_{кр}}. \quad (2.26)$$

8. Визначаємо коефіцієнт $\vartheta_{1р}$ залежно від питомої потужності орєбреного корпусу блока (рис. 2.7).

9. Визначаємо коефіцієнти K_{H1} , K_{H2} залежно від атмосферного тиску зовні та всередині блока – H_1 та H_2 (рис. 2.9 і 2.10).

10. Обчислюємо перегрівання орєбреного корпусу блока:

$$\vartheta_к = \vartheta_{1р} K_{H1}. \quad (2.27)$$

11. Обчислюємо перегрівання нагрітої зони з орєбренным корпусом:

$$\vartheta_3 = \vartheta_к + (\vartheta_2 - \vartheta_1) K_{H2}. \quad (2.28)$$

12. Обчислюємо середнє перегрівання повітря у блоці за формулою:

$$\vartheta_в = 0,5 (\vartheta_3 + \vartheta_к).$$

13. Визначаємо питому потужність елемента, перегрівання його поверхонь і навколишнього середовища за формулами (2.8), (2.9), (2.10).

14. Визначаємо температури корпусу блока, нагрітої зони, поверхні елемента, повітря у блоці та температуру навколишнього середовища елемента за формулами (2.11)–(2.15).

Перевіряємо значення температур, одержаних за формулами (2.11)–(2.15) розрахунків, щодо відповідності вимогам технічного завдання і в разі перевищення хоча б одним з них зазначених вимог вносимо зміни або до геометричних розмірів блока, або до значень коефіцієнта його заповнення, або ж до вибраного режиму охолодження і повторюємо розрахунки з п. 2.1.

2.4.5 Порядок розрахунків теплового режиму блока у перфорованому корпусі

1. Розраховуємо: поверхню корпусу блока, умовну поверхню нагрітої зони, питому потужність корпусу блока та питому потужність нагрітої зони за формулами (2.1), (2.2), (2.3) і (2.4).

2. Визначаємо коефіцієнти ϑ_1 , ϑ_2 залежно від питомої потужності корпусу блока та питомої потужності нагрітої зони (рис. 2.7 і 2.8).

3. Визначаємо коефіцієнти K_{H1} , K_{H2} залежно від атмосферного тиску зовні та всередині блока – H_1 та H_2 (рис. 2.9 і 2.10).

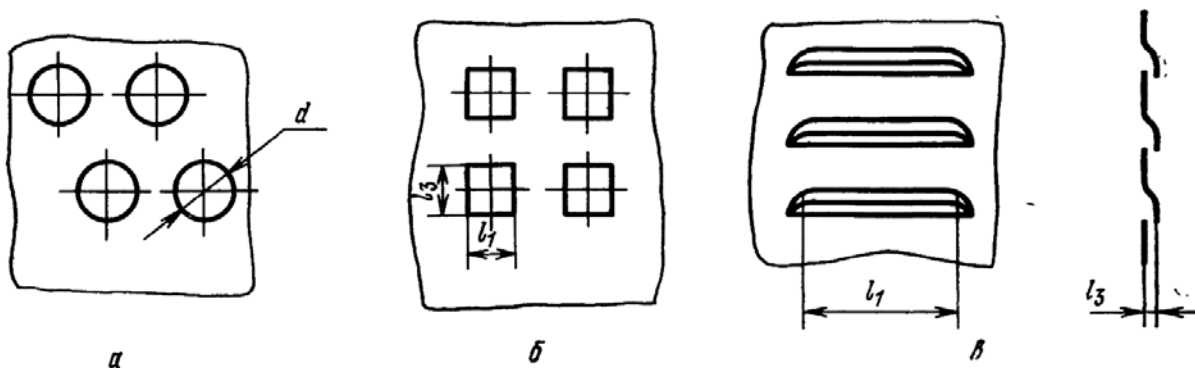


Рисунок 2.13 – Конфігурації перфораційних отворів

4. Розраховуємо площу перфораційних отворів:

– для прямокутних отворів (рис. 2.13, б і в):

$$S = n l_1 l_3 ,$$

де n – кількість отворів; l_1 – горизонтальний розмір отвору; l_3 – вертикальний розмір отвору;

– для круглих отворів (рис. 2.13, а):

$$S = n \frac{\pi d^2}{4},$$

де n – кількість отворів; d – діаметр отвору.

5. Обчислюємо коефіцієнт перфорації за формулою:

$$\Pi = \frac{S_{\Pi}}{2l_1 \cdot l_2},$$

6. Визначаємо коефіцієнт K_{Π} залежно від коефіцієнта перфорації за рис. 2.14.

7. Визначаємо перегрівання корпусу блока:

$$\vartheta_k = 0,93\vartheta_1 K_{H1} K_{\Pi} \quad (2.27)$$

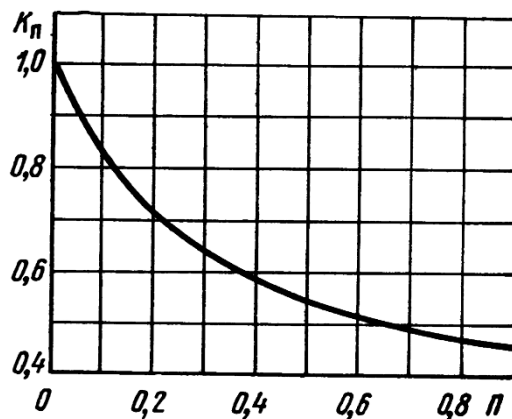


Рисунок 2.14 – Залежність K_{Π} від коефіцієнта перфорації

8. Визначаємо перегрівання нагрітої зони:

$$\vartheta_3 = 0,93K_{\Pi} \left[\vartheta_1 K_{H1} + \left(\frac{\vartheta_2}{0,93} - \vartheta_1 \right) K_{H2} \right]. \quad (2.28)$$

9. Визначаємо середнє перегрівання повітря у блоці:

$$\vartheta_{\text{в}} = 0,6\vartheta_{\text{з}}. \quad (2.29)$$

10. Визначаємо питому потужність елемента, перегрівання його поверхонь і навколишнього середовища за формулами (2.8), (2.9), (2.10).

11. Визначаємо температури корпусу блока, нагрітої зони, поверхні елемента, повітря у блоці та температуру навколишнього середовища елемента за формулами (2.11)–(2.15).

Перевіряємо значення температур, одержаних за формулами (2.11)–(2.15) розрахунків, щодо відповідності вимогам технічного завдання і в разі перевищення хоча б одним з них зазначених вимог вносимо зміни або до геометричних розмірів блока, або до значень коефіцієнта його заповнення, або ж до вибраного режиму охолодження і повторюємо розрахунки з п. 2.1.

2.4.6 Розрахунки теплового режиму РЕА за примусового повітряного охолодження

Застосуємо поширений на сьогодні підхід до розв'язання подібних задач, запропонований Г. Н. Дульневим. За цією методикою розрахунки теплового режиму РЕА з примусовим охолодженням зручно здійснювати у такому порядку.

1. Визначаємо середнє перегрівання повітря у блоці:

$$\bar{\vartheta}_{\text{в}} = 5 \cdot 10^{-4} \frac{P}{G}, \quad (2.30)$$

де P – потужність джерел тепла, розміщених у блоці; G – масові витрати охолоджувального повітря.

2. Визначаємо площу поперечного відносно напрямку продування перерізу корпусу блока:

$$S = L_1 L_2 ,$$

де L_1 та L_2 – розміри корпусу блока, перпендикулярні до напрямку продування.

3. Визначаємо коефіцієнт m_1 залежно від масових витрат повітря за рис. 2.15.

4. Визначаємо коефіцієнт m_2 залежно від поперечного до напрямку руху повітря перерізу корпусу блока за рис. 2.16.

5. Визначаємо коефіцієнт m_3 залежно від довжини корпусу блока у напрямку руху повітря за рис. 2.17.

6. Визначаємо m_4 залежно від коефіцієнта заповнення за рис. 2.18.

7. Розраховуємо перегрівання нагрітої зони блока з примусовим охолодженням:

$$\vartheta_3 = \bar{\vartheta}_e + P m_1 m_2 m_3 m_4. \quad (2.31)$$

8. Визначаємо умовну поверхню нагрітої зони за (2.2).

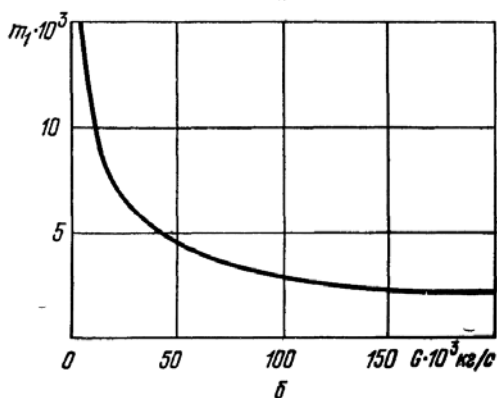
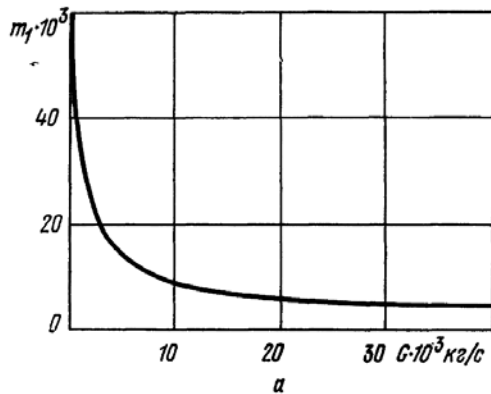


Рисунок 2.15 – Залежність m_1 від масових витрат повітря

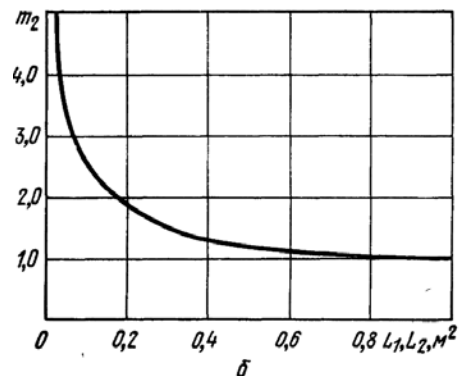
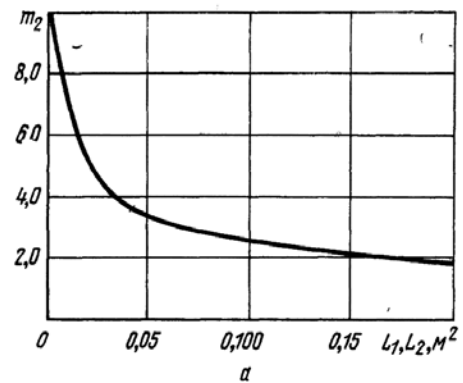


Рисунок 2.16 – Залежність m_2 від перерізу корпусу апарата

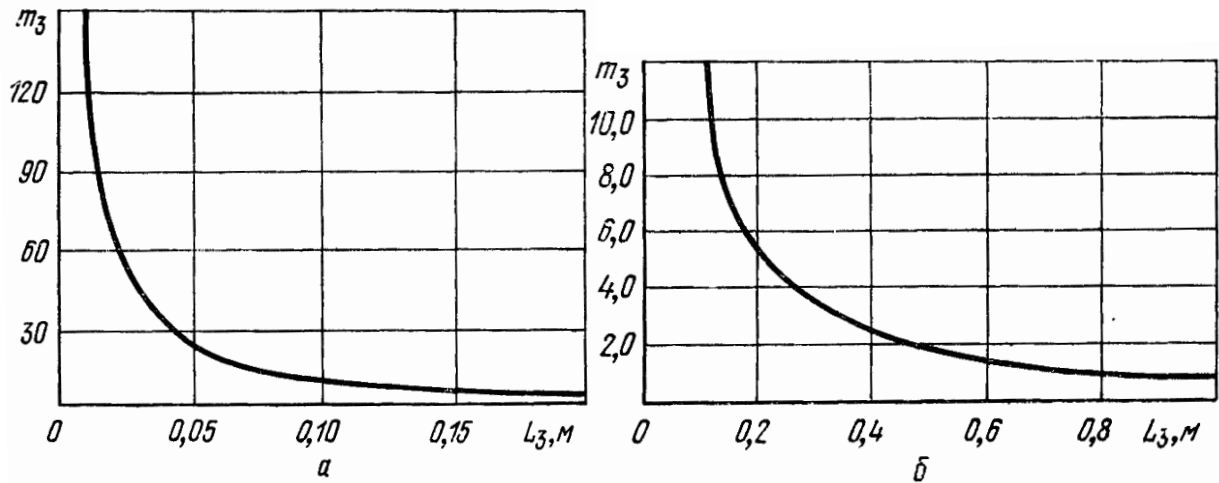


Рисунок 2.17 – Залежність m_3 від шляху руху повітря

9. Визначаємо питому потужність нагрітої зони за (2.4).

10. Визначимо питому потужність елемента за (2.8).

11. Обчислюємо перегрів поверхні елемента за формулою:

$$\vartheta_{ел} = \vartheta_3 \left(0,75 + 0,25 \frac{q_{ел}}{q_3} \right) \left(\frac{L}{L_3} + 0,5 \right) \quad (2.32)$$

де L – відстань у напрямку руху охолоджувального повітря від вхідного перерізу до місця розташування елемента; L_3 – довжина радіоелектронного апарата у напрямку обдування.

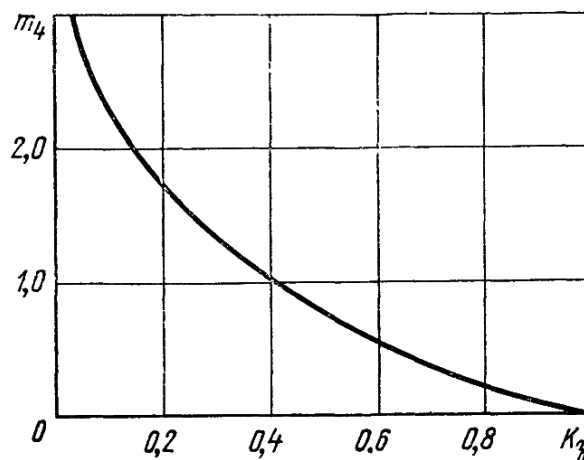


Рисунок 2.18 – Залежність m_4 від коефіцієнту заповнення

12. Обчислюємо перегрівання навколишнього середовища елемента:

$$\vartheta_{ec} = \bar{\vartheta}_e \left(0,75 + 0,25 \frac{q_{el}}{q_3} \right) \left(\frac{L}{L_3} + 0,5 \right). \quad (2.33)$$

13. Визначаються:

– температура нагрітої зони:

$$T_3 = \vartheta_3 + T_{вх}; \quad (2.34)$$

– середня температура повітря у блоці:

$$T_e = \bar{\vartheta}_e + T_{ex}; \quad (2.35)$$

– температура повітря на виході з блоку:

$$T_{e2} = 2\bar{\vartheta}_e + T_{ex}, \quad (2.36)$$

– температура поверхні елемента:

$$T_{ел} = \vartheta_{ел} + T_{вх}; \quad (2.37)$$

– температура навколишнього повітря елемента:

$$T_{ec} = \vartheta_c + T_{вх}; \quad (2.38)$$

Перевіряємо значення температур, одержаних за формулами (2.34)–(2.38) розрахунків, щодо відповідності вимогам технічного завдання і в разі перевищення хоча б одним з них зазначених вимог вносимо зміни або до геометричних розмірів блока, або до значень коефіцієнта його заповнення, або ж до вибраного режиму охолодження і повторюємо розрахунки з п. 2.1

3 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ ЗА КУРСОВИМ ПРОЄКТУВАННЯМ З ДИСЦИПЛІНИ «КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ»

Під час оцінювання знань студентів за результатами курсового проєктування передбачено такі оцінки (таблиця 3.1, 3.2).

Таблиця 3.1 – Оцінки знань студентів

Шкала оцінок		
Оцінка за національною шкалою (діф. залік)	Проміжок за накопичувальною бальною шкалою	Оцінка ECTS
Зараховано	90–100	A відмінно
	82–89	B дуже добре
	74–81	C добре
	64–73	D задовільно
	60–63	E достатньо
Не зараховано	35–59	FX незадовільно (дозволяється перескладання, але не більш ніж на E)
	1–34	F неприйнятно (повторне вивчення навчальної дисципліни)

Таблиця 3.2 – Оцінки знань студентів

Вид контролю	Максимальний бал
Виконання курсового проєкту (роботи) (етапи виконання згідно з календарним планом, наповнюваність змісту, якість оформлення, своєчасність виконання, творчий підхід)	60 (детальний розподіл балів здійснюється в робочій навчальній програмі)
Захист проєкту (роботи)	40
Усього	100

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи конструювання електронних приладів. Конспект лекцій / Уклад.: Поспеева І. Є. Запоріжжя: НУЗП, 2021. 98 с.
2. Основи конструювання: навчальний посібник / Є. М. Травніков, В. С. Лазебний, Г. Г. Власюк та ін.; за загальною редакцією В. С. Лазебного. К.: «КАФЕДРА», 2015. 285 с.
3. Невлюдов І. Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017. 444 с.
4. Фізичні основи електронної техніки: підручник / З. Ю. Готра та ін. Львів: Видавництво «Бескид Бит», 2004. 880 с.
5. Осадчук О. В., Крилик Л. В. Конструювання і технологія приладів мікро- та наноелектроніки. Вінниця: ВНТУ, 2016. 58 с.
6. Багрій В. В. Основи проектування електронних систем. Кам'янське: ДДТУ, 2016. 206 с.
7. Лазебний В. С., Пілінський В. В. Конструювання та технології виробництва апаратури реєстрації інформації: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 450 с.
8. Мосьпан Д. В. Фізико-теоретичні основи конструювання електронної апаратури: навчальний посібник. Кременчук: ТОВ «Кременчуцька міська типографія», 2018. Т. 1. 240 с. ISBN 978-617-641-062-1.
9. Мосьпан Д. В. Фізико-теоретичні основи конструювання електронної апаратури: навчальний посібник. Кременчук: ТОВ «Кременчуцька міська типографія», 2019. Т. 2. 240 с. ISBN 978-617-641-072-0.
10. Бондаренко І. М., Бородин О. В., Карнаушенко В. П. Проектування напівпровідникових приладів та інтегральних схем: Навч. посібник для студентів ЗВО. Харків: ХНУРЕ, 2018.
11. Якименко Г. Я. Технологія виробництва друкованих плат: навч. посіб. для студ. вузів. За ред. Б.І. Байрачного. Харків: НТУ «ХПІ», 2021. 152 с.

12. ДСТУ ІЕС/TS 61000-1-2:2012. Електромагнітна сумісність. Частина 1–2. Загальні положення. Методологія досягнення функційної безпечності електричних та електронних систем, зокрема устаткування, чутливого до електромагнітних явищ. [Чинний від 2012-08-01]. Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості». 32 с. (Державний стандарт України).
13. ДСТУ 2779-94. Монтаж електричний радіоелектронної апаратури та приладів. Загальні технічні вимоги до формування виводів та до установлення виробів електронної техніки на друковані плати. [Чинний від 1996-01-01]. Київ: Держстандарт України, 1994. 11 с. (Державний стандарт України).
14. ДСТУ 3334-96. Плати друковані. Загальні вимоги до технологічних процесів регенерації, знешкодження та утилізації розчинів. [Чинний від 1997-01-01]. Київ: Видавництво стандартів. Держстандарт України. 12 с. (Державний стандарт України).
15. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення. [Чинний від 1995-07-01]. Київ: Видавництво стандартів. Держстандарт України. 24 с. (Державний стандарт України).
16. ДСТУ 2783-94. Монтаж електричний радіоелектронної апаратури та приладів. Загальні вимоги до монтажу виробів електронної техніки та електротехнічних на друковані плати. [Чинний від 1996-01-01]. Київ: Держстандарт України, 1994. 21 с. (Державний стандарт України).
17. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2003-12-03]. К.: Видавництво стандартів. Держспоживстандарт України, 2005. 55 с. (Державний стандарт України).
23. ДСТУ 2.701-2008. ЕСКД. Схеми. Види та типи. Загальні вимоги до виконання. [Чинний від 2009-07-01]. 17 с.
24. ДСТУ 2.702:2013 Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем. [Чинний від 2003-12-11]. Київ: ДП «Український

- науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2009. 26 с. (Державний стандарт України).
25. ДСТУ 2.708-2005. ЕСКД. Правила виконання електричних схем цифрової обчислювальної техніки. [Чинний від 2005-07-01]. 15 с.
26. ДСТУ 2.710-2008. ЕСКД. Позначення буквено-цифрові в електричних схемах. [Чинний від 2007-11-01]. 10 с.
27. ДСТУ 2.711-2008. ЕСКД. Схеми поділу виробу на основні частини. [Чинний від 2007-11-01]. 12 с.
28. ДСТУ 2.417-2011. ЕСКД. Правила виконання креслень друкованих плат. [Чинний від 2010-12-01]. 5 с.
29. ДСТУ 2860:1994. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. К.: Видавництво стандартів. Держстандарт України, 1995. 90 с. (Національний стандарт України).
30. ДСТУ 2861:1994. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. [Чинний від 1996-01-01]. Київ: Видавництво стандартів. Держстандарт України, 1995. 33 с. (Національний стандарт України).
31. ДСТУ 2862:1994. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. [Чинний від 1996-01-01]. Київ: Видавництво стандартів. Держстандарт України, 1995. 40 с. (Національний стандарт України).
32. ДСТУ 2863:1994. Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги. [Чинний від 1996-01-01]. Київ: Видавництво стандартів. Держстандарт України, 1995. 38 с. (Національний стандарт України).
33. ДСТУ 2992:1995. Вироби електронної техніки. Методи розрахунку надійності. [Чинний від 1996-01-01]. Київ: Видавництво стандартів. Держстандарт України, 1995. 78 с. (Національний стандарт України).
34. ДСТУ 3008:1995. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структури і правила оформлення. [Чинний від 1996-01-01]. Київ: Видавництво стандартів. Держстандарт України, 1995. 37 с. (Національний стандарт України).

Додаткова:

1. Мосьпан Д. В., Перекрест А. Л., Кухаренко Д. В., Юрко О. О., Вадурін К. О. Комп'ютеризований практикум з моделювання фізичних процесів. *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2022. Випуск 6 (137). С. 29–35. DOI: 10.32782/1995-0519.2022.6.3.
2. Мосьпан Д. В., Кухаренко Д. В., Юрко О. О. Електронні та оптоелектронні прилади. Збірник задач. Навчальний посібник. Кременчук: ТОВ «Кременчуцька міська типографія», 2022. 136 с. ISBN 978–617–641–092–8.
3. Мосьпан Д. В. Електронні пристрої відтворення звуку: навчальний посібник. Кременчук: ТОВ «Кременчуцька міська типографія», 2023. 480 с. ISBN 978–617–641–091–1.
4. Mospan D., Gorbatyuk S., Dragobetskii V., Shapoval A., Khrebtova O., Markov O. Automatic Temperature Control System for Electric Resistance Annealing of Steel Welding Wire. *METALLURGIST*, 2021. Vol. 65. Issue 3–4. P. 412–422. DOI: 10.1007/s11015-021-01171-4.
5. Мосьпан Д. В., Мосьпан В. О. Окремі аспекти застосування електроніки в медицині. Prospects and priorities of research in science and technology: Collective monograph. Czech technical University in Prague. Riga: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2020. Vol. 2. 320 p. ISBN 978-9934-26-008-7. DOI: 10.30525/978-9934-26-008-7.2-8
6. Мосьпан Д. В., Невлюдова В. В. Аналіз та вибір концептуальних моделей процесів розвитку виробничих дефектів та відображення інформації про технічний стан РЕА. General and complex problems of technical sciences: experience of EU countries and implementation in the practice of Ukraine. Collective monograph. Riga: «Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2019. 384 p. ISBN 978-9934-571-88-6.

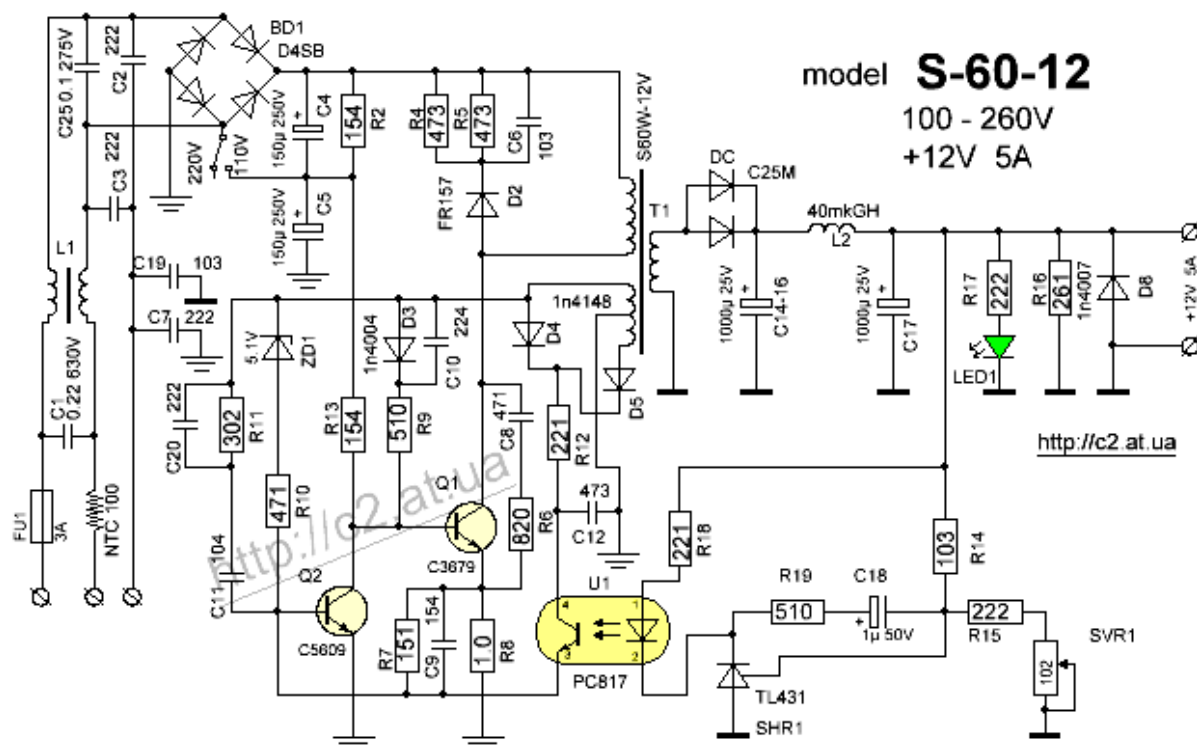


Рисунок А-1

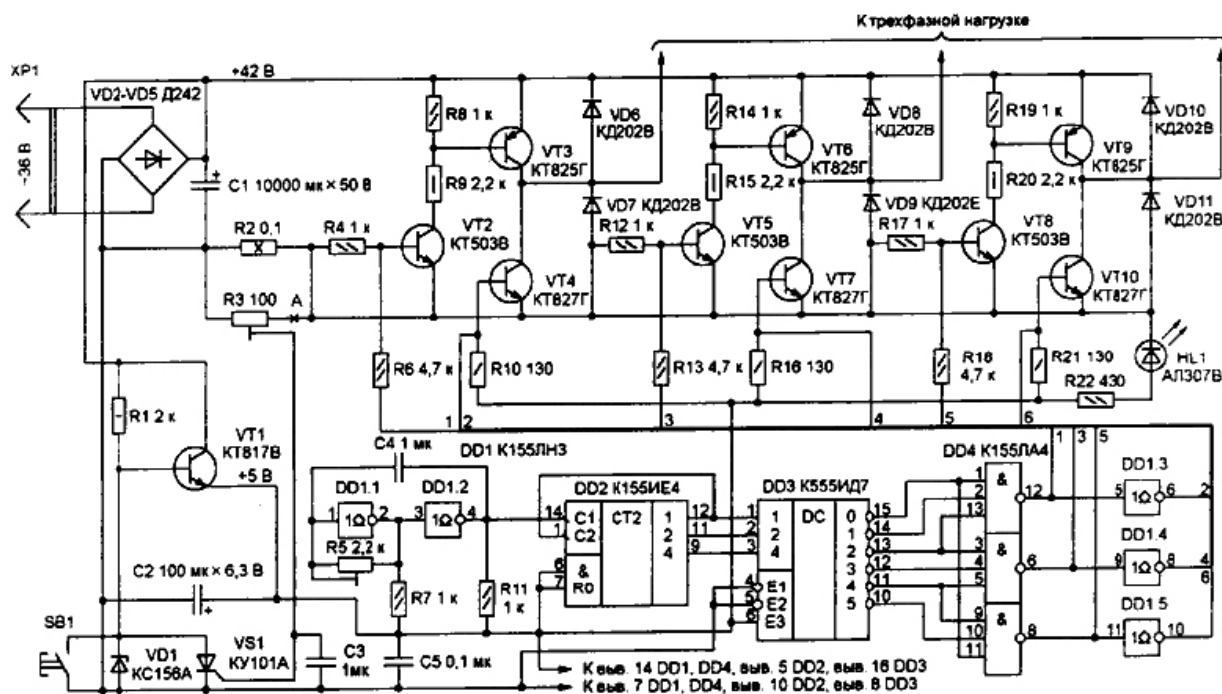


Рисунок А-2

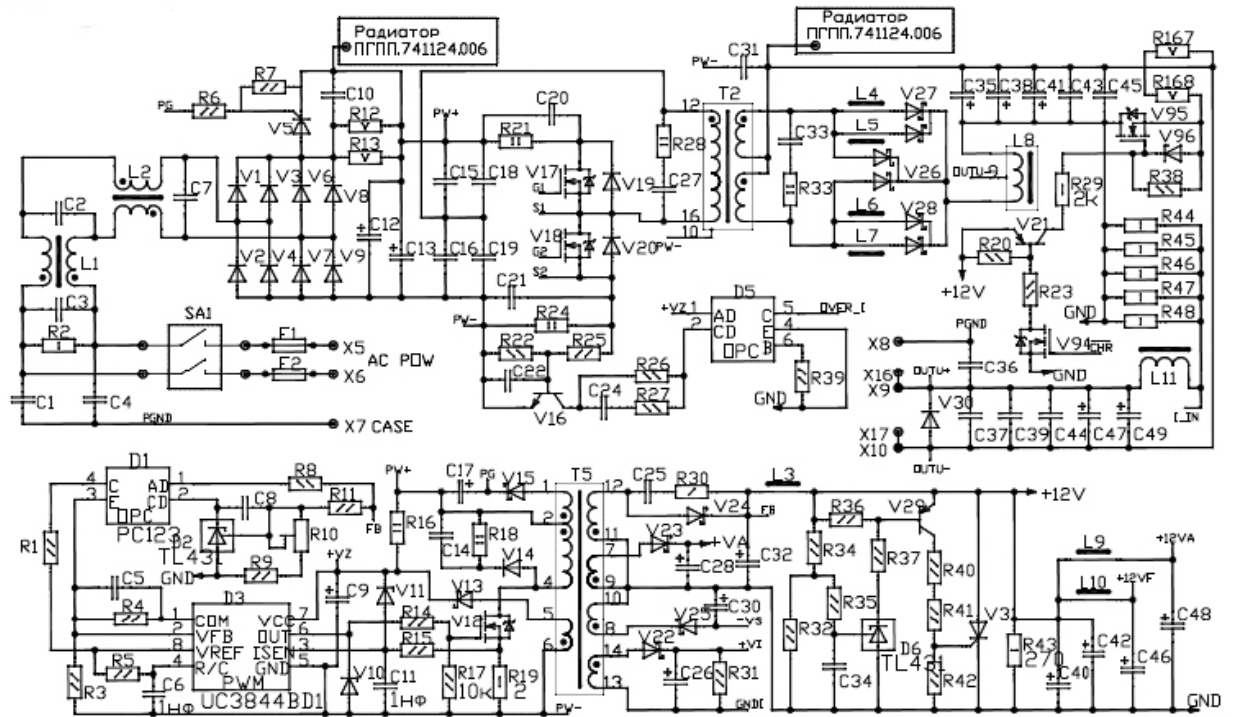


Рисунок А-3

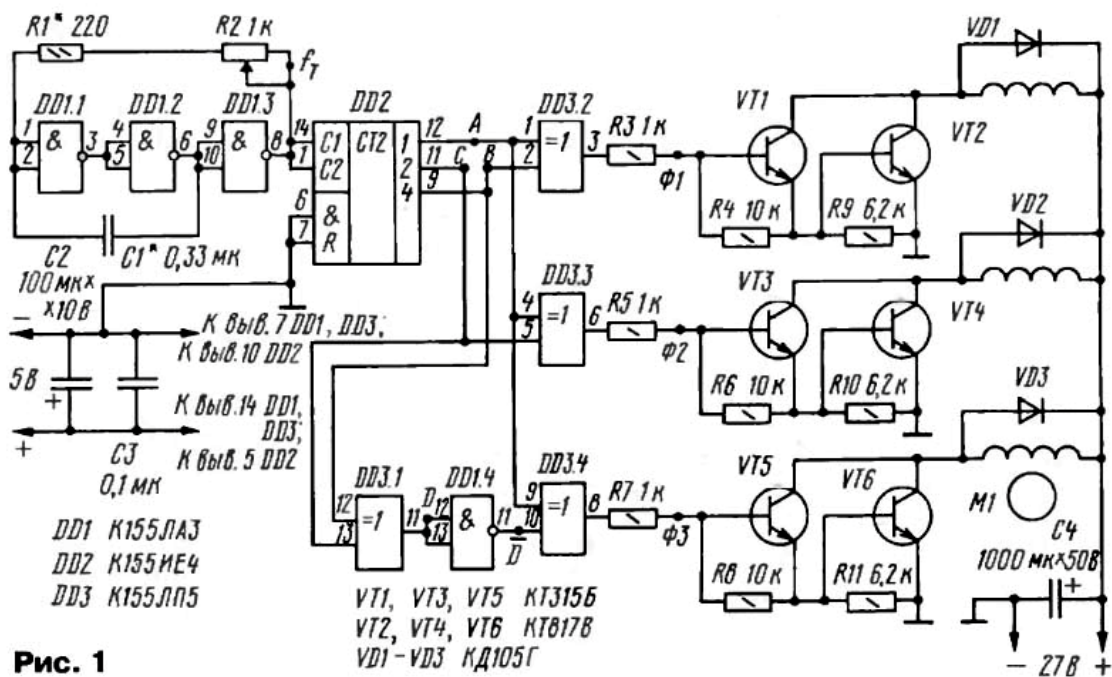


Рисунок А-4

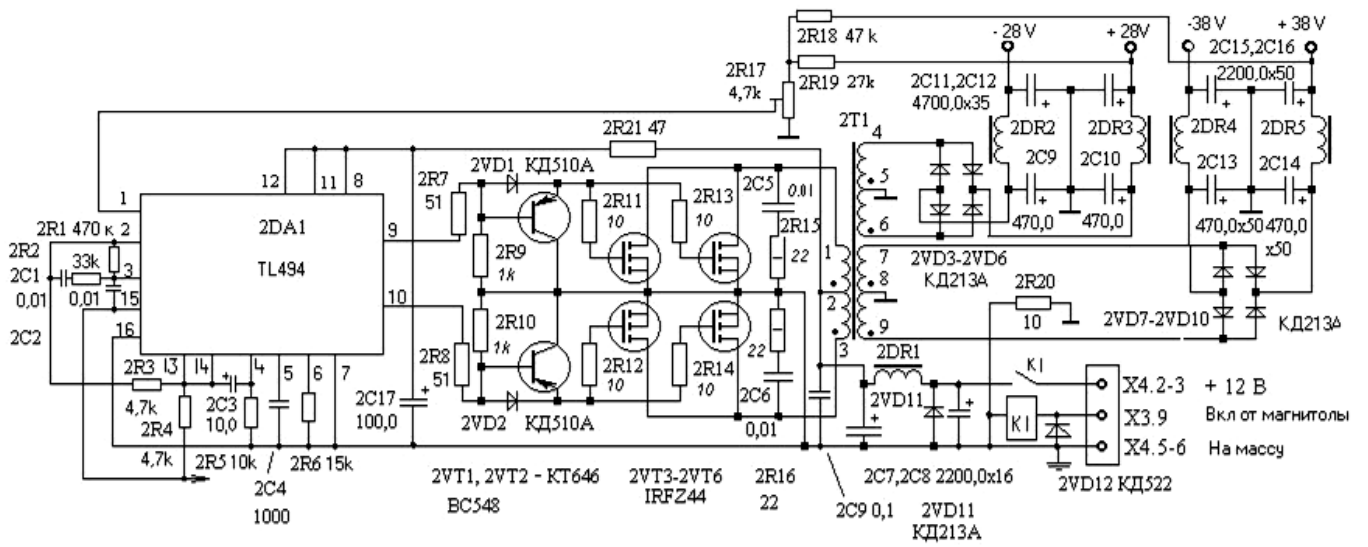


Рисунок А-5

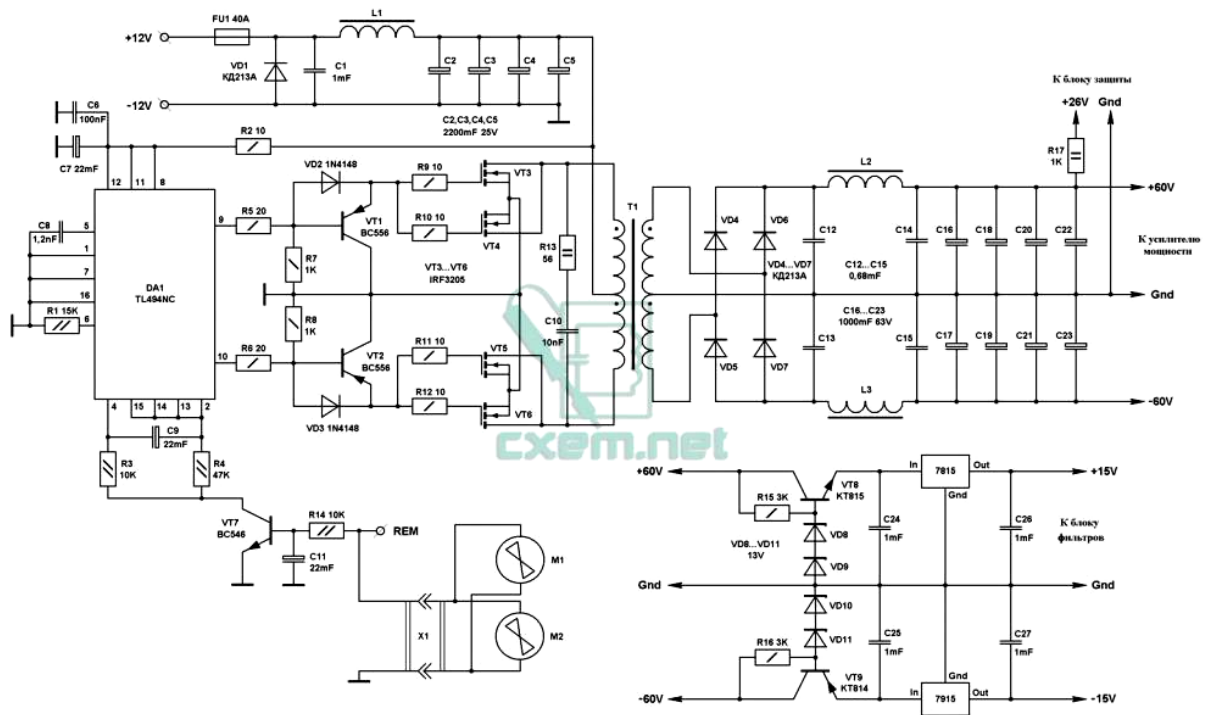


Рисунок А-6

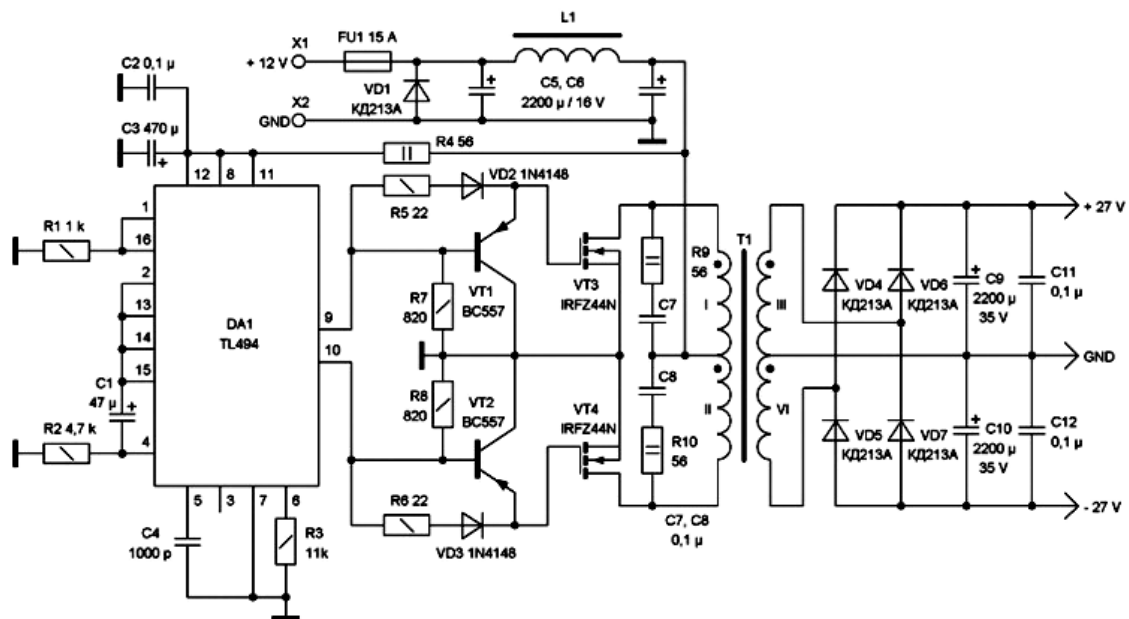


Рисунок А-7

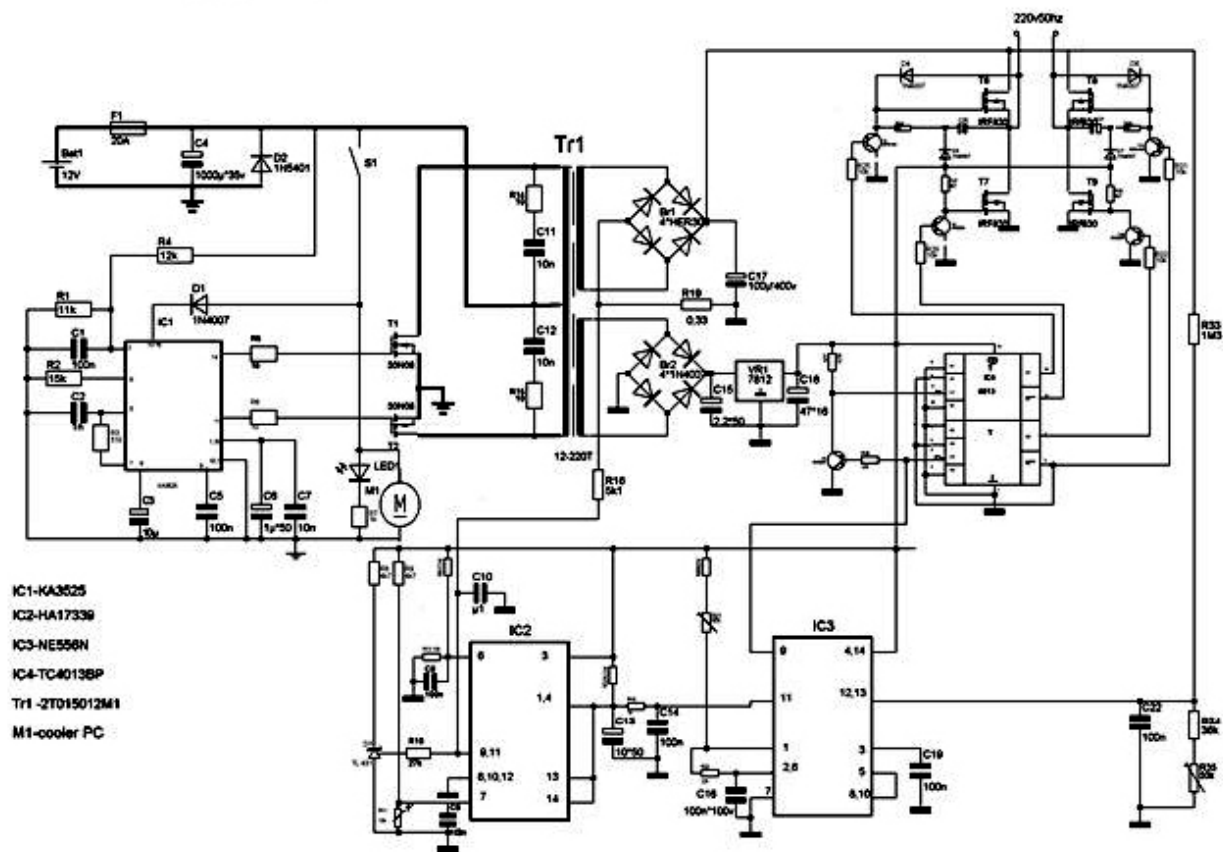


Рисунок А-8

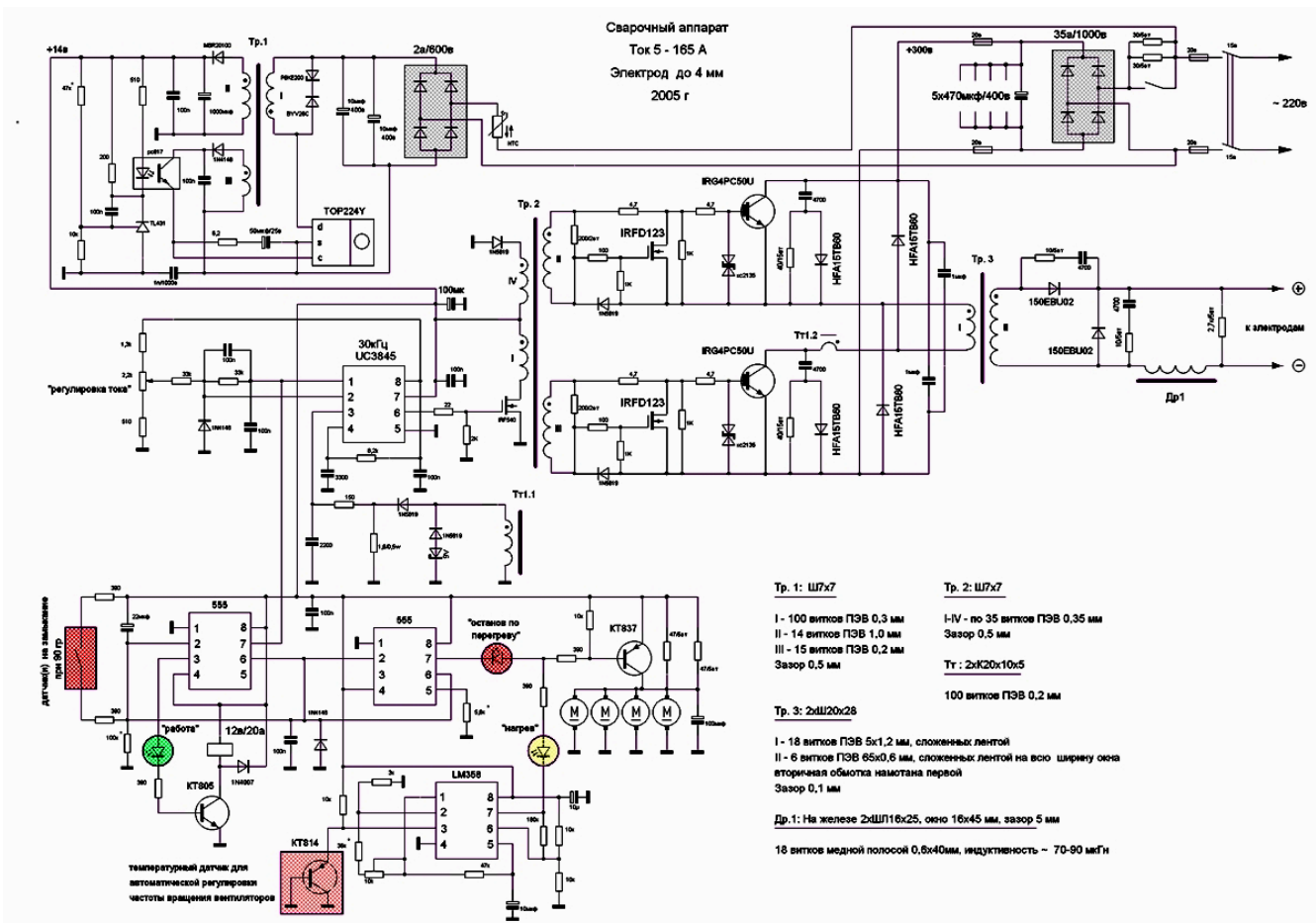


Рисунок А-9

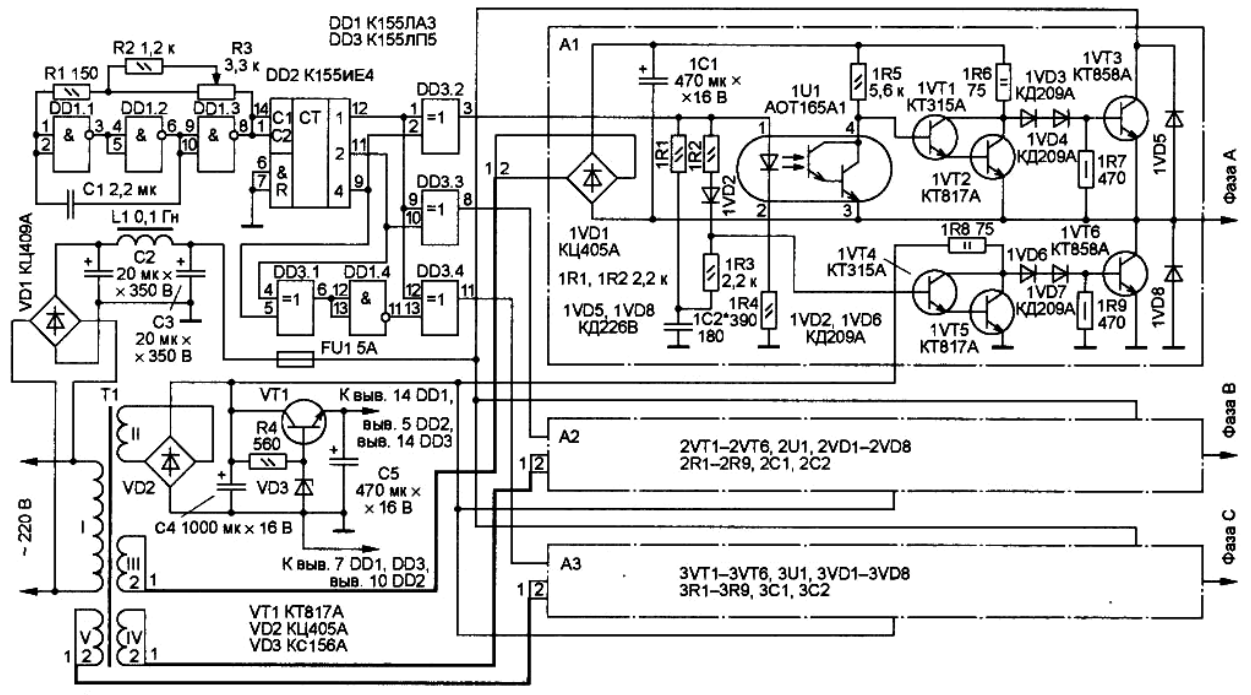


Рисунок А-10

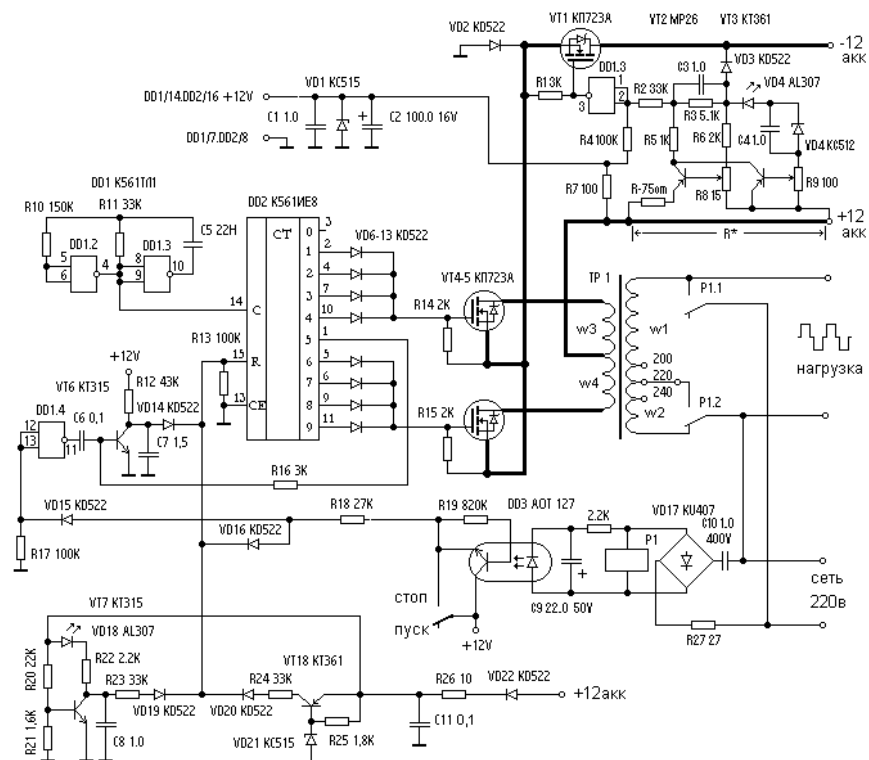


Рисунок А-11

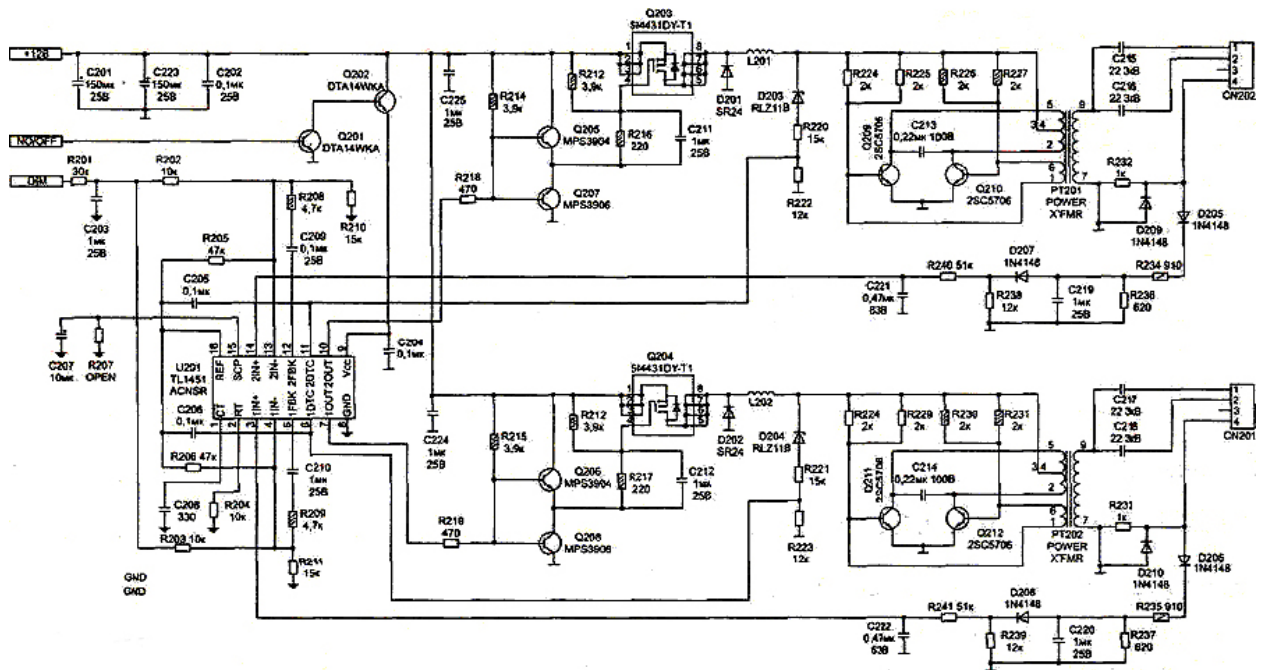


Рисунок А-12

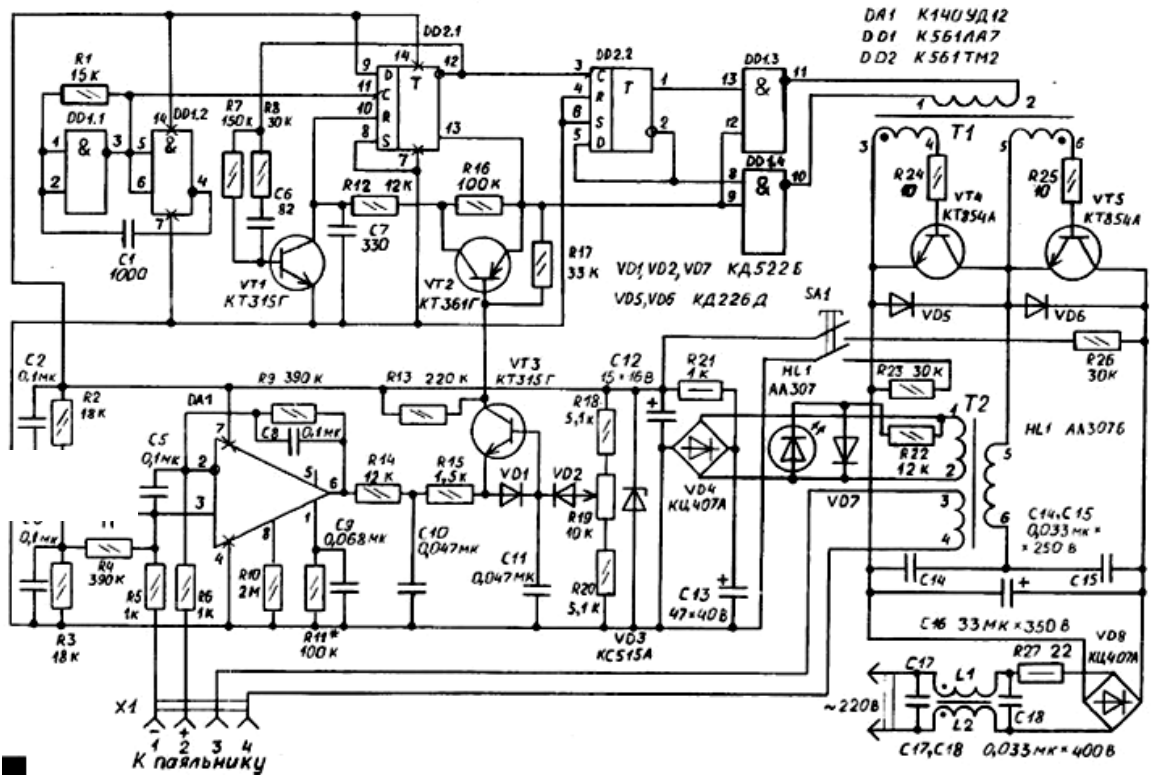


Рисунок А-13

Таблиця А-1 – Вихідні дані для варіантів завдань курсового проєкту

Варіант	Рисунок	Сумарна потужність, що розсіюється у блоці P , Вт	Діапазон можливих змін температури навколишнього середовища $T_{сmin}$, $T_{сmax}$, °С	Межі зміни тиску навколишнього середовища $p_{сmin}$, $p_{сmax}$, $\times 10^5$ Па
1	A-1	60	- 40 ÷ +60	0,67 – 1,0
2	A-2	70	- 40 ÷ +60	0,53 – 1,0
3	A-3	100	- 40 ÷ +60	0,4 – 1,0
4	A-4	2	- 40 ÷ +60	0,27 – 1,0
5	A-5	150	- 40 ÷ +60	0,13 – 1,0
6	A-6	70	- 40 ÷ +60	0,11 – 1,0
7	A-7	10	- 40 ÷ +60	0,08 – 1,0
8	A-8	200	- 40 ÷ +60	0,05 – 1,0
9	A-9	30	- 40 ÷ +60	0,03 – 1,0
10	A-10	40	- 40 ÷ +60	0,67 – 1,0
11	A-11	80	- 40 ÷ +60	0,53 – 1,0
12	A-12	5	- 40 ÷ +60	0,4 – 1,0
13	A-13	60	- 40 ÷ +60	0,27 – 1,0
14	A-10	80	- 40 ÷ +60	0,13 – 1,0
15	A-1	60	- 20 ÷ +40	0,11 – 1,0
16	A-2	100	- 20 ÷ +40	0,08 – 1,0
17	A-3	60	- 20 ÷ +40	0,05 – 1,0
18	A-4	4	- 20 ÷ +40	0,03 – 1,0
19	A-5	100	- 20 ÷ +40	0,67 – 1,0
20	A-6	40	- 20 ÷ +40	0,53 – 1,0
21	A-7	5	- 20 ÷ +40	0,4 – 1,0
22	A-8	200	- 20 ÷ +40	0,27 – 1,0
23	A-9	10	- 20 ÷ +40	0,13 – 1,0
24	A-10	20	- 20 ÷ +40	0,11 – 1,0
25	A-11	70	- 20 ÷ +40	0,08 – 1,0
26	A-12	10	- 20 ÷ +40	0,05 – 1,0
27	A-13	40	- 20 ÷ +40	0,03 – 1,0
28	A-11	100	- 20 ÷ +40	0,4 – 1,0

Рекомендації щодо визначення решти вихідних даних, які є необхідними для розрахунків, такі:

1. Термін безперервної роботи τ є необхідним для оцінювання режиму роботи, оскільки області доцільного застосування різних способів охолодження побудовані лише для довготривалого режиму роботи РЕА як такого, що найчастіше зустрічається на практиці. Якщо ж РЕА працюватиме у

короткочасному або періодичному режимі, то наведені далі методи будуть малопридатними.

2. Коефіцієнт заповнення апарата характеризує ступінь корисного використання об'єму і є одним з головних показників якості конструкції. Коефіцієнт заповнення апарата має бути заданим у ТЗ або може вибиратися на підставі досвіду проектування подібних РЕА. Основні розміри корпусу РЕА можливо визначити наближеними розрахунками компоновки РЕА (розрахункове завдання з навчальної дисципліни «Фізико-теоретичні основи конструювання»).

3. Орієнтовне значення маси (ваги) блока визначають за результатами аналізу елементної бази, вибраної за варіантом принципової схеми (аналогічно до попереднього п. 2).

4. Допустимі температури елементів T_i визначаються за даними довідників, де наведені дані про основні параметри елементів схеми.

Зразок оформлення титульної сторінки пояснювальної записки

Форма № Н-6.01

КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

з навчальної дисципліни

«Конструювання електронних пристроїв»

на тему «Розрахунок теплового режиму підсилювача низької частоти»

Студента (ки) _____ курсу, групи _____
напряму підготовки _____
спеціальності _____

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник _____

_____ (посада, учене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії _____

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Кременчук 2023

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Освітній ступінь бакалавр

(бакалавр, магістр)

Спеціальність 171 – Електроніка

(шифр і назва)

Освітня програма «Технологія, обладнання та виробництво електронної техніки»

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

Андрій ПЕРЕКРЕСТ

«_» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ

ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ СТУДЕНТУ

(вид кваліфікаційної роботи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема курсового проєкту Розрахунок теплового режиму підсилювача низької частоти

керівник кваліфікаційної роботи Мосьпан Денис Владиславович, к. т. н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 16 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані для курсового проєкту згідно із завданням курсового проєкту

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вибір типу охолодження пристрою, урахування впливу зовнішнього тиску на режим охолодження, визначення товщини стінки кожуха РЕА, розрахунки теплового режиму блока РЕА

5. Перелік графічного матеріалу (із точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Схема електрична принципова (А1)

6. Консультанти розділів курсового проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розрахунки теплового режиму блока РЕА	Мосьпан Д.В.		

7. Дата видачі завдання _____ 15 вересня 2023 року _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів курсового проєкту	Строк виконання етапів курсового проєкту	Примітка
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис) (Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Гарант освітньої програми _____ **Дмитро КУХАРЕНКО**
(підпис) (Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник курсового проєкту _____ **Денис МОСЬПАН**
(підпис) (Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

КОДИ КЛАСИФІКАЦІЇ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

Коди класифікаційної характеристики
 Позначення конструкторських документів
 Міжгалузевий стандарт. Система креслярського господарства. Ч. 4

Клас	Тип	Вид	
2 – Пристрої та групи	2.00 – Складні та комбіновані	2.000	Приймачі та передавачі
		2.002	Підсилювачі
		2.008	Перетворювачі
		2.009	Інші
	2.01 – Передавачі	2.010	Частотної модуляції
		2.016	Імпульсних сигналів
		2.019	Інші
	2.03 – Підсилювачі	2.030	Високої частоти, СВЧ
		2.032	Низької частоти та постійного струму
		2.039	Інші
	2.06 – Радіотехнічні	2.062	Конттури
		2.067	Фільтри
		2.069	Блоки комбіновані
	2.08 – Радіотехнічні	2.087	Блоки живлення
		2.089	Інші
	2.21 – Радіотехнічні	2.210	Генератори синусоїдальної напруги
	2.22 – Радіотехнічні	2.222	Блоки напівпровідникових пристроїв
	2.25 – Радіотехнічні	2.250	Фільтри
		2.259	Блоки комбіновані
	2.89 – Різного призначення	2.893	Пристрої медичні
		2.899	Інші
	2.93 – Пристрої вакуумні, пневматичні, гідравлічні	2.920	Інші
		2.933	Прилади медичні
2.935		Прилади біологічного призначення	

Клас	Тип	Вид	
3 – Прилади та групи	3.11 – Генератори	3.110	Постійного струму до 0,5 кВт
		3.117	Високої частоти
		3.119	Інші
	3.29 – Різного призначення	3.293	Пристрої медичні
	3.45 – Набори елементів (матриці)	3.450	Резисторів
		3.452	Конденсаторів
		3.454	Діодів
		3.456	Транзисторів
	3.95 – Прилади медичні тренувальні	3.458	Комбіновані
		3.950	Прилади медичні оптико-механічні
	3.959	Інші	
4 – Прилади, групи, комплекти	4.12 – Шасі, стінки, кришки, щити	4.120	Шасі приладів, блоків і механізмів
	4.17 – Комплекти упаковок. Тара	4.170	Комплекти упаковок
		4.177	Таблиці, графіки, паспорта, схеми та ін.
	4.7 – Трансформатори, дроселі, індуктивності та ін.		
	4.85 – Кабелі з'єднувальні	4.858	Загального призначення
		4.859	Інші
	4.86 – Проводи та шнури з'єднувальні	4.860	Шнури
		4.863	Проводи, джгути (проводів)
		4.869	Інші
	4.93 – Комплекти ізоляційні та монтажні	4.930	Монтажні
4.939		Інші	
5 – Вузли	5.32 – Електроди	5.327	Резонаторів і елементів п'єзокристалічних
		5.328	Напівпровідникових
		5.329	Інші
	5.40 – Радіотехнічні	5.401	Блоки комбіновані
	5.42 – Радіотехнічні	5.422	Блоки напівпровідникових приладів
	5.44 – Пристрої електромеханічні	5.443	Пристрої медичні
	5.97 – Пристрої медичні, тренувальні	5.970	Пристрої медичні оптико-механічні
5.979		Інші	

Клас	Тип	Вид		
6 – Вузли	6.79 – Кабелі, проводи, шнури	6.790	Проводи, шнури, джгути	
	6.81 – Пояснювальні	6.810	Описання, таблиці, графіки, інструкції	
		6.812	Паспорта, формуляри	
		6.814	Схеми (неелектричні)	
		6.819	Інші	
7 – Деталі	7.07 – Електро- та радіо пристроїв	7.070	Екрани	
		7.079	Інші	
	7.10 – Електро- та радіо пристроїв	7.100	Плати з друкованими схемами	
		7.102	Плати з друкованим монтажем	
	7.16 – Електро- та радіо пристроїв	7.161	Плати друковані	
	7.18 – Різного призначення	7.180	Деталі пристроїв медичних	
	7.34 – Із напівпровідникових матеріалів і металічних сплавів	7.340	Пластини	
		7.343	Електроди	
	7.40 – Металічні	7.400	Виводи	
	7.76 – Кабелі, проводи	7.760	Проводи	
		7.762	Шнури	
		7.769	Інші	
	7.80 – Корпуси, каркаси	7.800	Корпуси	
		7.804	Каркаси	
	7.81 – Основи, плати	7.810	Основи	
		7.814	Плати	
		7.817	Плати для друкованого монтажу	
	7.99 – Різного призначення			
	8 – Деталі	8.60 – Металоконструкції	8.600	Планки, підкладки, прокладки
		8.61 – Металоконструкції	8.610	Пластини, полоси, ленти
8.619			Інші	
8.70 – Стійки, ножки		8.700	Стійки	
		8.703	Ножки	
8.99 – Різного призначення	8.991	Інші		

Методичні вказівки щодо виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни «Конструювання електронних пристроїв» для студентів денної форми навчання зі спеціальності 171 – «Електроніка» освітньо-професійної програми «Технологія, обладнання та виробництво електронної техніки» освітнього ступеня «Бакалавр»

Укладач к. т. н., доц. Д. В. Мосьпан

Відповідальний за випуск зав. кафедри КІЕ А. Л. Перекрест

Підп. до др. 26. 12. 23. Формат 60×84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.
Ум. друк. арк. 2, 71. Наклад 2 прим. Зам. № 21611. Безкоштовно.

Редакційно-видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Університетська 20, м. Кременчук, 39600