

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи
і завдання до самостійної роботи студентів
з дисципліни

ТЯГОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

*(для студентів 3 курсу заочної форми навчання
напряму підготовки 6.050702 – «Електромеханіка»
та слухачів другої вищої освіти спеціальностей
7.05070203 – «Електричний транспорт»,
7.05070202 «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»)*

Харків – ХНАМГ – 2012

Методичні вказівки до виконання курсової роботи і завдання до самостійної роботи студентів з дисципліни „Тягові електричні апарати” (для студентів 3 курсу заочної форми навчання напряму підготовки 6.050702 – «Електромеханіка» та слухачів другої вищої освіти спеціальностей 7.05070203 – «Електричний транспорт», 7.05070202 «Електричні системи і комплекси транспортних засобів») / Харк. нац. акад. міськ. госп–ва; уклад.: М. І. Кисельов. – Х.: ХНАМГ, 2012. –43 с.

Укладач: М. І. Кисельов

Рецензент: доцент В. М. Гаряжа

Затверджено на засіданні кафедри Електричного транспорту,
протокол № 2 від 21.09.2010 р.

ВСТУП

Курс “Тягові електричні апарати” розглядає основи теорії, принцип дії і конструкцію основних типів електричних апаратів, які застосовують у системах електропостачання і на рухомому складі міського електричного транспорту. Курс є однією з основних теоретичних дисциплін, базою для вивчення наступних спеціальних дисциплін, що профілюють у спеціальностях “Електричний транспорт” і „Електричні системи і комплекси транспортних засобів”.

При проектуванні тягових електричних апаратів про їхню здатність до роботи розмірковують за статичною тяговою характеристикою приводного електромагніта. Необхідно прагнути до того, щоб статична тягова характеристика протягом усього ходу якоря розташовувалася вище характеристики протидіючих зусиль. Статичну тягову характеристику визначають за сталою величиною струму в обмотці електромагніта.

Розрахунок електромагніта проводять графоаналітичним методом.

Основні параметри магнітопроводу наведені на рис. 2.2, де зображений ескіз магнітної системи і літерні позначення основних розмірів магнітопроводу. Числові значення цих розмірів (вихідні дані) вказують у завданні на курсову роботу.

Для вивчення студентами даного курсу навчальним планом передбачена самостійна робота над курсом з рекомендованих джерел, виконання курсової роботи, лекції і виконання лабораторних робіт під час підсумкових зборів. Заключні лекції і лабораторні роботи мають мету – роз'яснення найбільш складних розділів курсу, поглиблення і закріплення знань, що отримані у процесі самостійної роботи.

Своєчасному і якісному виконанню курсової роботи надається особливого значення, тому що вони є письмовим звітом студентів – заочників щодо проробленої самостійної роботи з вивчення матеріалу курсу.

I. Завдання до самостійної роботи

1.1. Введення курсу

Загальні дані про тягові електричні апарати. Історія розвитку електроапаратобудування. Класифікація тягових електричних апаратів. Основні вимоги, що пропоновані до електричних апаратів, які застосовують на рухомому складі транспортних засобів [1, с. 4–7], [2, с. 4–14], [3, с. 5–7], [4, с. 5–7, 25–29].

1.2. Призначення, принцип дії і методи проектування електричних апаратів

Призначення, принцип дії і пристрій основних видів електричних апаратів. Запобіжники, вимикачі, трансформатори струму і напруги. Апарати керування. Контакттори, гібридні контакттори. Апарати розподілу. Апарати автоматичні, напівпровідникові реле, геркони, герсикони. Теплові реле. Струмові реле. Дистанційне реле опору. Реле часу і програмні реле. Проміжні (комутаційні) реле. Датчики (первинні перетворювачі). Автоматичні регулятори і стабілізатори. Підсилювачі і перетворювачі. [1, с. 8–25], [2, с. 145–198], [3, с. 149–291], [4, с. 8–25].

Питання до самоперевірки

1. Обґрунтуйте призначення тягових електричних апаратів.
2. Проаналізуйте функції керування струмом за допомогою електричних апаратів.
3. Проаналізуйте сферу застосування тягових електричних апаратів.
4. Обґрунтуйте класифікацію електричних апаратів.
5. Проаналізуйте призначення, принцип дії і застосування на транспортних засобах запобіжників.
6. Призначення вимикачів.
7. Обґрунтуйте призначення апаратів керування.
8. Обґрунтуйте принцип дії гібридного (напівпровідникового) контакттора.
9. Проаналізуйте відмінність пускачів від контактторів.

10. Обґрунтуйте призначення електромагнітних муфт.
11. Проаналізуйте умови, за яких відкривається тиристор гібридного контактора.
12. Яке призначення апаратів автоматики?
13. Принцип дії найпростішого електромагнітного реле.
14. Призначення дистанційного реле опору.
15. Призначення датчиків?
16. Принцип дії найпростішого магнітного підсилювача.
17. Принцип дії магнітокерованих контактних апаратів (герконів).
18. Принцип дії теплових реле.
19. Призначення і принцип дії біметалічної пластини теплового реле.
20. За якими показниками напівпровідникові реле перевершують електромагнітні?
21. Призначення реле часу і програмних реле.
22. Призначення автоматичних регуляторів і стабілізаторів.

1.3. Методи проектування електромагнітних апаратів

Електромеханічні явища в апаратах. Електромагнітне поле в апаратах і магнітні кола. Електромагнітні взаємодії, основні закони і їхнє використання для розрахунку магнітних колів. Розрахунок магнітних колів при постійному струмі без обліку потоків розсіювання. Тороїд з розподіленою обмоткою. Розгалужене магнітне коло. [1, с. 23–34], [2, с. 110–124], [3, с. 112–128], [4, с. 29–125].

Питання до самоперевірки

1. Проаналізуйте взаємодію двох паралельних провідників за однакового напрямку струму в них.
2. Проаналізуйте взаємодію двох паралельних провідників при різних напрямках струму в них.
3. Проаналізуйте сутність індукційно–динамічних взаємодій в системах зі струмами, що змінюються.
4. Чому в електромагнітах не виникають сили відштовхування якоря від осердя при будь–якому напрямку струму в обмотці?

5. Пояснить перше рівняння Максвелла в елементарних умовах стосовно до обмотки з числом витків W і струмом i .
6. Пояснить закон електромагнітної індукції Фарадея в елементарній формі.
7. Пояснить закон електромагнітної індукції Фарадея щодо електромагнітних елементів змінного струму.
8. Обґрунтуйте величину магнітного опору магнітопроводу як малу чи велику?
9. Закон розрахунку магнітних кіл (аналогічний першому закону Кірхгофа для електричних кіл).
10. Закон розрахунку магнітних кіл (аналогічний другому закону Кірхгофа для електричних кіл).
11. Пояснить закон повного струму для магнітних кіл.
12. Обґрунтуйте використання матеріалу магнітопроводу електромагнітних систем.
13. Обґрунтуйте матеріал магнітопроводу постійних магнітів.
14. Проаналізуйте криву намагнічування сталі.
15. Розрахунок тороїда з розподіленою обмоткою при заданій магніторушійній силі.
16. Розгалужене магнітне коло і його розрахунок.

1.4. Електромагніти

Електромагніти постійного і змінного струмів. Тягова характеристика. Протидіючі зусилля (навантаження). Час спрацьовування електромагніта. Основні параметри електромагнітів. Загальне рівняння балансу напруги на обмотці електромагніта.

Котушки електромагнітів. Електромагнітні механізми апаратів. Основні поняття. Прискорення спрацьовування електромагнітів. Уповільнення спрацьовування електромагнітів. Струмоведучі частини. Проводи і шини. Тепловий розрахунок обмоток електричних апаратів. [1, с. 35–44, 51–55], [3, с. 131–145], [4, с. 92–98, 118–130].

Питання до самоперевірки

1. Що називають протидіючою (механічною) і тяговою характеристикою електромагніта?

2. Перелічіть основні параметри електромагніта.
3. Проаналізуйте основні фактори, що впливають на час спрацьовування електромагніта.
4. Проаналізуйте вплив на контактну систему розташування тягової характеристики електромагніта нижче протидіючої.
5. Дайте визначення “коефіцієнта запасу” як одного з основних параметрів електромагніта.
6. Охарактеризуйте потужність, яку споживає електромагніт, як один з основних параметрів електромагніта.
7. Чим пояснюють деяке зниження струму електромагніта на початку руху якоря?
8. Напишіть формулу для визначення стискального зусилля електромагніта.
9. Що називають магнітним колом? Назвіть елементи магнітного кола електромагнітів.
10. Сформулюйте закон Ома для магнітного кола.
11. Дайте визначення 1–го і 2–го законів Кирхгофа для магнітного кола.
12. У чому полягає розрахунок магнітних кіл? Пряма і зворотна задача.
13. У чому полягає узгодження тягової і механічної характеристик?
14. Як визначають час спрацьовування і відпускання електромагнітів?
15. Назвіть способи зміни тимчасових параметрів електромагнітів постійного струму.
16. Що таке „електромагнітне демпфірування”?
17. У чому полягають конструктивні особливості електромагнітів перемінного струму?
18. Назвіть способи усунення вібрації якоря електромагнітів змінного струму.
19. Проаналізуйте прискорення часу спрацьовування електромагніта при під'єднанні послідовно додаткового резистора і збільшенні напруги живлення.

20. Обґрунтуйте прискорення спрацьовування електромагніта при під'єднанні конденсатора паралельно додатковому послідовно приєднаному резистору.

21. Проаналізуйте роботу електромагнітного реле при шунтуванні додаткового послідовно приєднаного резистора контактами даного електромагнітного реле.

22. Проаналізуйте вплив на час спрацьовування електромагніта гільзи з електропровідного матеріалу, яка охоплює магнітопровід.

23. Обґрунтуйте збільшення ефекту сповільненого відпускання реле по відношенню до ефекту збільшення притягання при використанні короткозамкнутої гільзи з електропровідного матеріалу.

24. Порівняйте середнє зусилля притягання електромагнітів постійного і змінного струмів при однаковій площі полюса.

25. Обґрунтуйте переваги електромагнітів постійного струму в порівнянні з електромагнітами змінного струму.

26. Обґрунтуйте необхідність шихтування магнітопроводів електромагнітів змінного струму.

27. Чим обумовлене додаткове нагрівання магнітопроводу електромагніта змінного струму?

28. Що таке „сталій процес нагрівання”?

29. Назвіть види теплових режимів.

30. Чим визначають припустимий перегрів обмотки електромагнітів?

31. Дайте визначення термічної стійкості апаратів.

32. Дайте визначення електродинамічної стійкості апаратів.

1.5. Електричні контакти

Фізичні явища в електричному контакті. Різновиди електричних контактів. Перехідний опір контактів. Вплив різних фізичних факторів на опір контактів. Параметри контактних конструкцій. Основні конструкції контактних з'єднань. Особливості роботи рухливих контактів. Матеріали для контактів /3, с. 308–332/.

Процес розмикання контактів. Знос контактів при розмиканні. Процес замикання контактів. Знос контактів при замиканні. [1, с. 46–51, 56–60], [2, с. 29–54], [3, с. 41–66], [4, с. 308–332].

Питання до самоперевірки

1. Що називають електричним контактом?
2. Що таке „контакт–деталь”?
3. Що називають фрітінгом при електричному контактуванні в тягових електричних апаратах?
4. Проаналізуйте процес електричного контактування двох контакт–деталей електричного апарата.
5. Проаналізуйте чисто металеве контактування двох контакт–деталей.
6. Обґрунтуйте існування трьох видів контактів за формою контактування.
7. Приведіть класифікацію контактів тягових апаратів за призначенням.
8. Які існують з’єднувальні контакти електричних апаратів?
9. Які існують різновиди комутуючих контактів електричних апаратів?
10. Проаналізуйте призначення головних і дугогасних комутуючих контактів.
11. Чим обумовлений опір стягування електричного контакту?
12. Що таке „перехідний опір контакту”?
13. Як залежить перехідний опір контакту від сили натискання?
14. Що таке „напруга розм’якшення”?
15. Назвіть фактори, що викликають знос контактів.
16. Назвіть матеріали, які застосовують для виготовлення контактів.

1.6. Електрична дуга

Процеси іонізації і деіонізації дугового проміжку. Вольт–амперна характеристика дуги постійного струму. Особливості дуги змінного струму. Способи гасіння дуги. Електрична дуга і пристрої її гасіння. Властивості і характеристика електричної дуги. Способи впливу на електричну дугу з метою керування нею і гасіння її. Магнітне гасіння дуги. Дугогасильні системи. [1, с. 60–69], [2, с. 54–95], [3, с. 68–112], [4, с. 187–214].

Питання до самоперевірки

1. Види іонізації дугового проміжку.
2. Що таке „рекомбінація”?
3. Що таке „дифузія”?
4. Від яких параметрів залежить вольт–амперна характеристика дуги?
5. Що таке „магнітне дугтя”?
6. На чому засноване гасіння дуги в дугогасній решітці?
7. Дугогасні камери з вузькою щілиною.
8. Проаналізуйте умови виникнення електричної дуги при розмиканні електричних контактів.
9. Дайте визначення „електричної дуги”.
10. Що являє собою стовбур електричної дуги?
11. Проаналізуйте статичну характеристику електричної дуги при різних її довжинах.
12. Проаналізуйте способи впливу на електричну дугу з метою керування або гасіння.
13. Принцип магнітного гасіння дуги в тягових електричних апаратах.
14. Які різновиди магнітного гасіння дуги існують у тягових електричних апаратах?

II Курсова робота

Загальні вказівки

Одним з етапів розрахунку електромагнітних механізмів (електромагнітів) є побудова тягової характеристики. Для надійного включення електромагнітів необхідно, щоб тягова характеристика за будь-якого положення якоря була вище механічної. Спільна побудова цих характеристик і їхнє узгодження звичайно проводять після вибору магнітної системи, кінематичної схеми передавального механізму і визначення основних параметрів електромагнітів (розмір магнітопровода, хід якоря, сила обмотки, що намагнічує й та ін.).

Побудова тягової характеристики електромагніта зв'язана з розрахунком магнітного кола з перемінним повітряним зазором. Розв'язання цієї задачі має свої особливості, що при вивченні теоретичних основ електротехніки не розглядаються і викликають скрутний стан у студентів при вивченні даного матеріалу. Для поглиблення знань по магнітних колах, прищеплювання навичок розрахунку магнітних кіл зі змінним повітряним зазором і введена курсова робота з дисципліни "Тягові електричні апарати".

Виконуючи цю курсову роботу, усі розрахунки потрібно – супроводжувати короткими і чіткими поясненнями, дотримуючись при цьому наступного правила: спочатку варто написати формулу в загальному виді, потім підставити в неї числові значення в одиницях системи "СИ" і лише після цього записати результати.

Із пояснювальної записки випливає, що виконувати її слід на аркушах паперу формату А4, добре скріплених і таких що мають обкладинку. Роботу обов'язково виконувати чітким почерком. Схеми і графіки необхідно виконувати акуратно із застосуванням креслярських інструментів і дотриманням вимог ЕСКД.

Графіки треба креслити на міліметровому папері з позначенням величин і їх розміру, що відкладають по осях. Позначення величин і через кому одиниці виміру надписувати ліворуч від осі координат і під віссю абсцис.

Розмірності основних фізичних величин у міжнародній системі одиниць "СИ", що застосовують у розрахунках, такі :

- магнітну провідність " G " виміряють у генрі ($Gн$) ;
- магнітний потік " Φ " виміряють у Веберах ($Вб$) ;
- магнітну індукцію " B " виміряють у Теслах ($Тл$) ;
- напруженість магнітного поля " H " ($A/м$);
- силу котушки, що намагнічує, " F " (A) ;
- стискальне зусилля " Q_m " виміряють у Ньютонах (H).

2.1. Зміст завдання і склад курсової роботи

За заданими геометричними розмірами магнітопроводу, марки сталі і сили котушки, що намагнічує, зробити розрахунок магнітного кола і побудувати тягову характеристику електромагніта постійного струму клапанного типу. При розрахунку магнітного кола, потоками розсіювання зневажити.

До складу роботи входить:

2.1. Розрахункова частина.

2.1.1. Визначення магнітної провідності повітряних зазорів.

2.1.2. Визначення похідної від провідності робочих зазорів за їх величиною ;

2.1.3. Складання схеми заміщення магнітного кола ;

2.1.4. Побудова вебер–амперної характеристики магнітного кола ;

2.1.5. Розрахунок магнітного кола графічним методом.

2.1.6. Визначення стискального зусилля і побудова тягової характеристики.

2.2. Графічна частина.

2.2.1. Ескіз магнітної системи із указівкою розмірів відповідно до завдання.

2.2.2. Розбивка поля на прості фігури.

2.2.3. Розбивка магнітного кола на ділянки і спрощену схему заміщення ;

2.2.4. Графічний розрахунок магнітного кола і побудова тягової характеристики.

2.2. Порядок виконання курсової роботи

Курсову роботу необхідно виконувати в послідовності, яка викладена в методичних указівках, що відповідає логічному ходу розрахунків. У тягових електричних апаратах транспортних засобів широко застосовують електромагнітні контактори клапанного типу.

Контактори – це апарати дистанційної дії, що призначені для частих замикань і розмикань силових електричних кіл під струмом. В сучасних тролейбусах і трамвайних вагонах їх використовують для керування тяговими електродвигунами.

Однією з основних характеристик електромагнітних контакторів є тягова характеристика, що являє собою залежність стискального зусилля Q_m від величини робочого зазору δ – $Q_m=f(\delta)$.

На рис. 2.1 наведена схема електромагнітного контактора клапанного типу з замикаючими головними контактами. В основному він складаються з нерухомого 1 і рухливого 2 контактів, контактної важеля 3 з упором 5, що закріплені на ізоляційній планці – 6, контактною пружиною 4, електромагніта, що приводить у дію рухомий контакт і складається з якоря 7, що відключає пружини 8, ярма (скоби) 9, сердечника 10 і котушки, що намагнічує, 11. Дугогасний пристрій на рисунку не позначений. У контакторах постійного струму для гасіння дуги найчастіше використовують дугогасну камеру і котушку магнітного дуття.

Повітряний зазор (між якорем і сердечником, чи полюсним наконечником), що змінюється при переміщенні якоря, називають робочим. Всі інші зазори: між якорем і торцем скоби, між сердечником і скобою – неробочими.

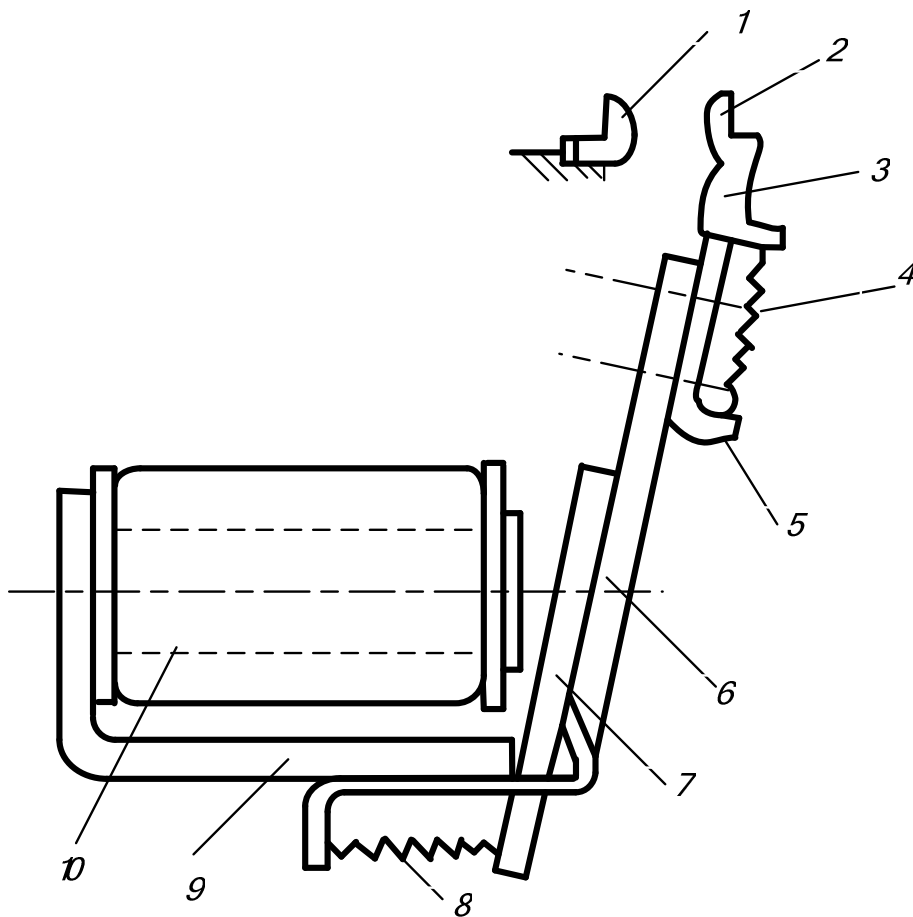


Рис. 2.1 – Схема електромагнітного контактора клапанного типу із замикаючими головними контактами

При протіканні струму котушкою відбуваються намагнічування магнітопроводу і яркір притягається до сердечника. Стискальне зусилля являє собою результат взаємодії елементарних струмів ярка і сердечника, що обумовлені як орбітальним рухом електронів, так і їхніми спінами.

Залежність сили притягання від величини робочого повітряного зазору для електромагніта клапанного типу можна виразити формулою:

$$Q_m = \frac{1}{2} * F_\delta^2 \frac{dG_\delta}{d\delta} .$$

Тут Q_m , – тягове зусилля ;

F_δ – падіння магнітного потенціалу в робочому зазорі ;

G_δ – магнітна провідність робочого повітряного зазору;

δ – величина цього зазору.

Змінними величинами тут є падіння магнітного потенціалу в робочому повітряному зазорі F_δ і зміна провідності $\frac{dG_\delta}{d\delta}$ при зміні зазору δ .

Уся сила, що намагнічує, F обмотки розподіляється в магнітній системі на падіння магнітного потенціалу в F_δ робітнику, у неробочому F_{δ_n} зазорах і в F_c сталі.

$$F = I * W = F_\delta + F_{\delta_n} + F_c .$$

Звідси:

$$F_\delta = (I * W) - F_{ст-нз} ,$$

де $F_{ст-нз} = F_c + F_{\delta_n}$ – падіння магнітного потенціалу в сталі і неробочому повітряному зазорі.

Значення F_δ і $dG_\delta/d\delta$ для декількох положень якоря (різних значень δ) знаходять з розрахунку магнітного кола. На рис. 2.2 наведений ескіз магнітної системи й основні розміри магнітопроводу, значення яких зазначені в завданні на курсову роботу.

Нижче наведена послідовність виконання курсової роботи.

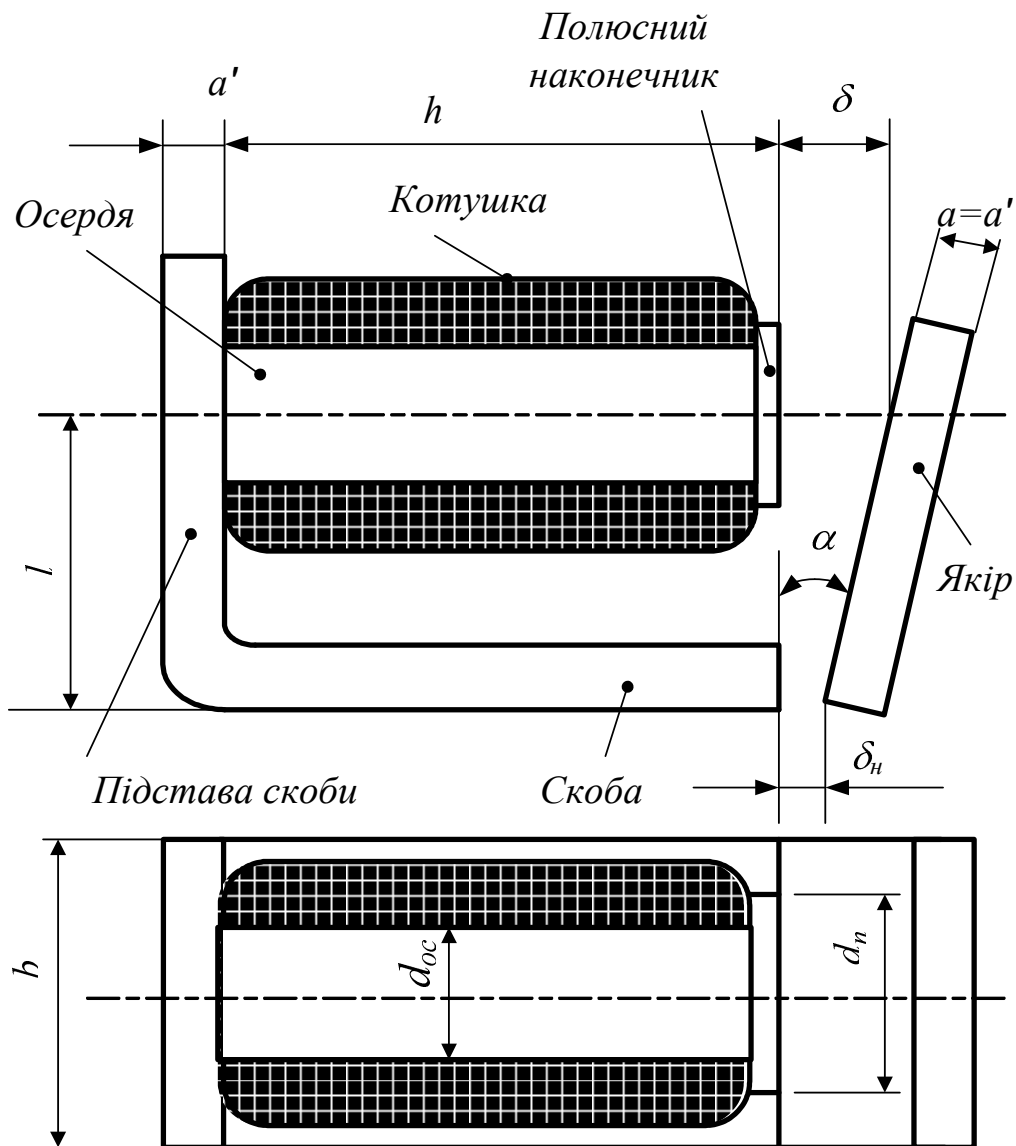
2.3. Визначення магнітної провідності робочого повітряного зазору і її похідної

Для визначення падіння магнітного потенціалу в робочому повітряному зазорі необхідно обчислити магнітну провідність цього зазору при декількох положеннях якоря. Тому провідність у даному випадку зручно знаходити за емпіричною формулою, яку запропонував В. В. Вишніовський:

$$G_\delta = \mu_0 * \frac{d_n^2}{0,00233 * d_n + 1,068 * \delta} ,$$

де d_n – діаметр полюсного наконечника;

$\mu_0 = 1,25 * 10^{-6}$ Гн/м – магнітна проникність повітря.



Де: δ —робочий зазор; δ_n —неробочий зазор

Рис. 2.2 – Ескіз магнітної системи й основні розміри магнітопровода

У цій формулі магнітну провідність крайових магнітних потоків (випинання силових ліній) враховують за допомогою постійних коефіцієнтів, що визначені на підставі обробки експериментальних даних.

За формулою В. В. Вишніовського потрібно обчислити магнітну провідність для наступних значень:

$\delta=1; 2; 4; 8; 12$ мм і максимальний зазор, який визначають з рис. 2.2.

$$\delta_{\text{макс}} = l * \text{tg } \alpha .$$

Після диференціювання формули В. В. Вишніовського для тих же значень повітряного зазору, знаходимо похідну:

$$\frac{dG_{\delta}}{d\delta} = -\mu_0 * \frac{1,068 * d_n^2}{(0,00233 * d_n + 1,068 * \delta)^2}.$$

2.4. Визначення магнітної провідності неробочого повітряного зазору

Магнітну провідність неробочого повітряного зазору між якорем і скобою, в роботі варто визначати методом розбивки поля на прості фігури, зробивши при цьому два допущення:

- провідність при переміщенні якоря не змінюється ;
- площини торця скоби і якоря паралельні.

Сутність цього методу полягає в тому, що все поле повітряного зазору розбивають на ряд трубок магнітного потоку, що мають форму простих геометричних фігур (циліндрів, напівциліндрів і т.д.).

Провідність елементарної трубки потоку пропорційна відносно середнього перерізу трубки S_{cp} і її довжини l_{cp} :

$$G_i = \mu_0 * \frac{S_{cp}}{l_{cp}}.$$

Якщо середній перетин визначити важко, то провідність такої фігури знаходять за формулою:

$$G_i = \mu_0 * \frac{V_i}{l_{cp}^2}.$$

Тут V_i – обсяг i –тої фігури.

Загальна провідність зазору дорівнює сумі провідностей окремих фігур, тому що прикладену до кінців різницю магнітних потенціалів для усіх фігур можна вважати однаковою (фігури з'єднані паралельно) .

Для визначення магнітної провідності неробочого повітряного зазору знаходимо величину неробочого повітряного зазору за формулою:

$$\delta_n = \frac{a}{2} * \operatorname{tg} \alpha$$

Потім після розбивки поля на прості фігури (рис. 2.3) визначаємо їхню провідність.

Формули провідностей окремих фігур мають наступний вигляд :

$$G_1 = \mu_0 \frac{a * b}{\delta_n}; G_2 = \mu_0 \frac{2 * a}{\pi * (\frac{\delta_n}{a} + 1)}; G_{2'} = \mu_0 \frac{2 * b}{\pi * (\frac{\delta_n}{a} + 1)}$$

$$G_3 = \mu_0 * 0.26 * a; G_{3'} = \mu_0 * 0.26 * b; G_4 = \mu_0 \frac{2 * b}{\pi * (\frac{\delta_n}{a} + 0,5)}$$

$$G_5 = \mu_0 * 0.52 * b; G_{6'} \approx G_6 = \mu_0 \frac{a}{4}; G_{7'} \approx G_7 = \mu_0 * 0.077 * \delta_n$$

Підставляючи значення величин, що входять до цих формул, відповідно до завдання, знаходимо провідності окремих фігур і повну провідність неробочого повітряного зазору:

$$G_{\delta_n} = G_1 + 2G_2 + G_{2'} + 2G_3 + G_{3'} + G_4 + G_5 + 4G_6 + 4G_7$$

Провідність G_7 незначна і нею можна знехтувати.

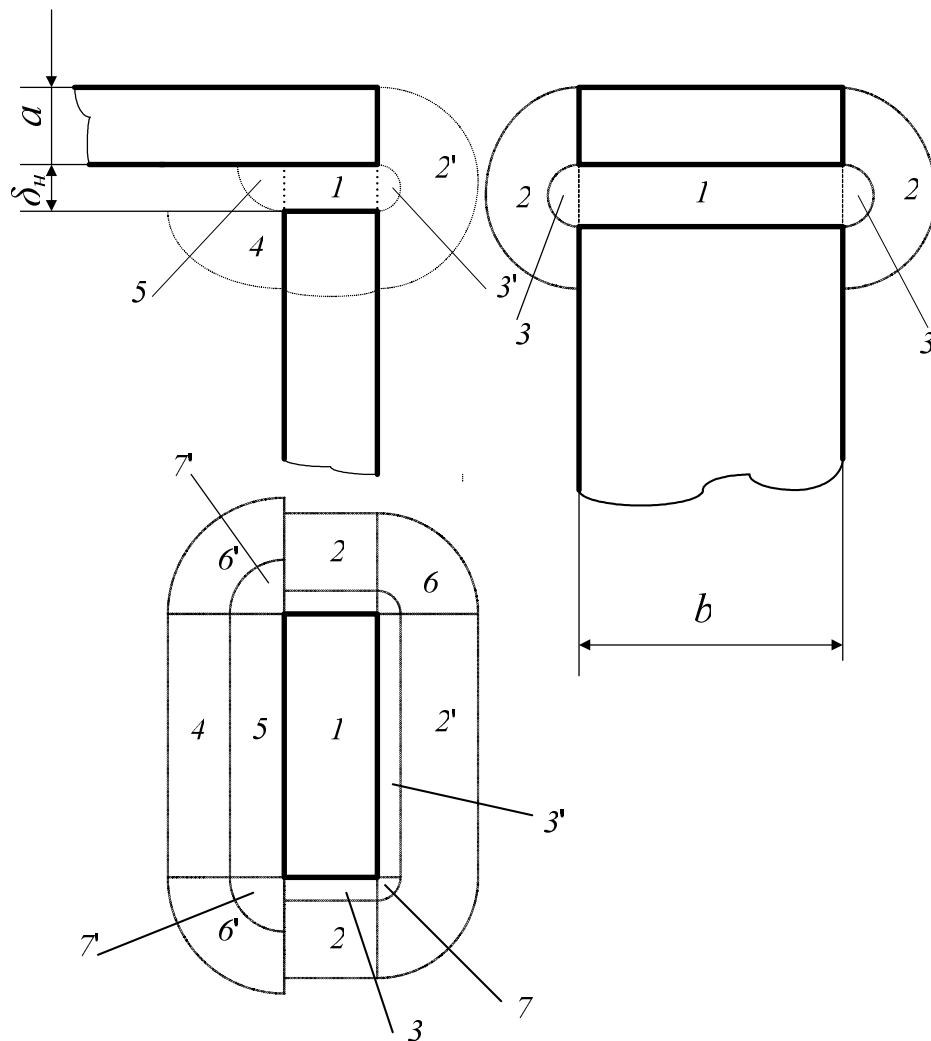


Рис. 2.3 – Магнітне поле між якорем і скобою

На рис. 2.3 наведені наступні фігури:

- 1 – прямокутний паралелепіпед розмірами a , b , δ_n ;
- 2 – половина порожнього циліндра довжиною a , внутрішній діаметр δ_n і зовнішній $\delta_n + 2a$;
- 2' – половина порожнього циліндра довжиною b , внутрішній діаметр δ_n і зовнішній $\delta_n + 2a$;
- 3 – половина циліндра довжиною a і діаметром δ_n ;
- 3' – половина циліндра довжиною b і діаметром δ_n ;
- 4 – чверть порожнього циліндра довжиною b , внутрішнім радіусом δ_n , зовнішнім – $(\delta_n + a)$;
- 5 – чверть циліндра довжиною b і радіусом δ_n ;
- 6 – чверть кульової оболонки діаметром $(\delta_n + 2a)$;
- 6' – чверть кульової оболонки діаметром $2 * (\delta_n + 2a)$;
- 7 – чверть кулі діаметром δ_n ;
- 7' – чверть кулі діаметром $(2 * \delta_n)$.

Приклад: Визначити магнітну провідність при $\delta_n=0,85$, $a=5,6$ мм і $b=80$ мм методом розбивки поля на прості фігури за приведеними нижче формулами:

$$G_1 = \mu_0 \frac{a * b}{\delta_n} = 1,25 * 10^{-6} * \frac{5,6 * 80 * 10^{-6}}{0,85 * 10^{-3}} = 0,66 * 10^{-6} \text{ Гн};$$

$$G_2 = \mu_0 \frac{2 * a}{\pi * (\frac{\delta_n}{a} + 1)} = \frac{1,25 * 10^{-6} * 2 * 5,6 * 10^{-3}}{3,14 * (\frac{0,85}{5,6} + 1)} = 0,0039 * 10^{-6} \text{ Гн};$$

$$G_{2'} = \mu_0 \frac{2 * b}{\pi * (\frac{\delta_n}{a} + 1)} = \frac{1,25 * 10^{-6} * 2 * 80 * 10^{-3}}{3,14 * (\frac{0,85}{5,6} + 1)} = 0,0555 * 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$G_3 = \mu_0 * 0,26 * a = 1,25 * 10^{-6} * 0,26 * 5,6 * 10^{-3} = 0,0018 * 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$G_{3'} = \mu_0 * 0,26 * b = 1,25 * 10^{-6} * 0,26 * 80 * 10^{-3} = 0,026 * 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$G_4 = \mu_0 \frac{2 * b}{\pi * (\frac{\delta_n}{a} + 0,5)} = \frac{1,25 * 10^{-6} * 2 * 80 * 10^{-3}}{3,14 * (\frac{0,85}{5,6} + 0,5)} = 0,1 * 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$G_5 = \mu_0 * 0,52 * b = 1,25 * 10^{-6} * 0,52 * 80 * 10^{-3} = 0,052 * 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$G_{6'} \approx G_6 = \mu_0 \frac{a}{4} = \frac{1,25 * 10^{-6} * 5,6 * 10^{-3}}{4} = 0,00180 * 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$G_{7'} \approx G_7 = \mu_0 * 0,077 * \delta_n = 1,25 * 10^{-6} * 0,0077 * 0,85 * 10^{-3} = 0,00008 * 10^{-6} \text{ Гн}$$

Повна провідність

$$\begin{aligned} G_{\delta_n} &= G_1 + 2G_2 + G_{2'} + 2G_3 + G_{3'} + G_4 + G_5 + 4G_6 + 4G_7 = \\ &= (0,66 + 2 * 0,039 + 0,0555 + 2 * 0,0018 + 0,026 + 0,1 + 0,052 + \\ &\quad + 0,0018 + 0,00008) * 10^{-6} = 0,983 * 10^{-6} \text{ Гн} \end{aligned}$$

З наведеного вище приклада видно, що G_7 дійсно незначна.

2.5. Складання схеми заміщення і побудова вебер – амперної характеристики магнітного кола.

При розрахунках магнітних кіл для зручності визначення необхідних співвідношень (між зацікавившими нас величинами) складають схему заміщення цього кола, причому зображують її аналогічно електричній схемі. У схемі заміщення умовно показують магнітні опори (чи провідності) робочих і неробочих повітряних зазорів, ділянок магнітопроводу і силу, що намагнічує.

Для магнітного кола електромагніта (рис. 2.2), без обліку потоків розсіювання схема заміщення може бути представлена у вигляді (рис. 2.4). Вона містить у собі магнітні опори сердечника R_c , скоби $R_{ск}$, якоря $R_я$, неробочого $R_{\delta н}$, і робітника R_{δ} повітряних зазорів і силу обмотки, що $F = I * W$ намагнічує.

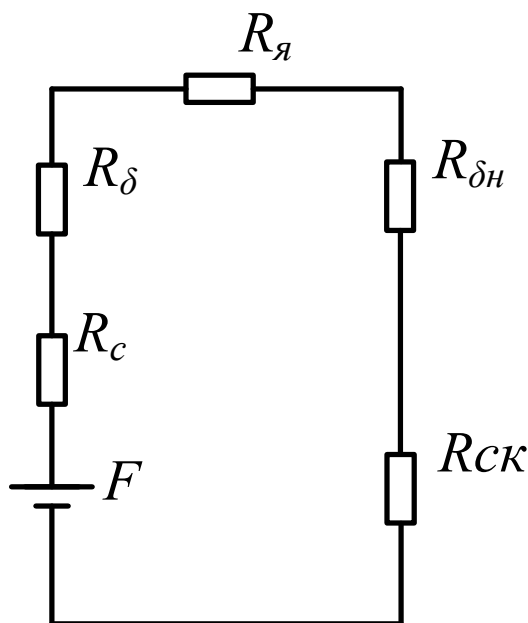


Рис. 2.4 – Схема заміщення тягового електромагніта.

Побудову вебер–амперних характеристик необхідно робити за допомогою основних кривих намагнічування феромагнітних матеріалів. Вони грають таку ж важливу роль при розрахунку магнітних кіл, як вольт – амперні характеристики нелінійних опорів при розрахунку електричних кіл.

Порядок побудови вебер–амперних характеристик наступний:

3.3.1. Визначають площі перерізу сердечника і скоби (якоря) у м²

$$S_c = \frac{\pi * d_c^2}{4}; \quad S_{ск} = S_я = a * b .$$

3.3.2. Визначають довжину ділянок у см (напруженість магнітного поля на основній кривій намагнічування звичайно задається в А/см). Тому що за завданням $S_я = S_{ск}$ при розрахунку скобу і якір можна об'єднати в одну ділянку. Тоді:

$$l_c = h; \quad l_{ск} + l_я = h + 2 * l$$

3.3.3. Задають поруч значення магнітної індукції в найменшому перетині магнітопроводу. Допустимо, що переріз сердечника менше, ніж скоби, тобто $S_c < S_{ск}$, тоді розрахунок ведемо по сердечнику. Максимальне значення магнітної індукції вибираємо близьким до індукції насичення.

3.3.4. По основній кривій намагнічування для всіх обраних значень магнітної індукції в сердечнику B_{ci} знаходять напруженість магнітного поля H_{ci} .

3.3.5. Визначають магнітний потік у сердечнику для всіх значень магнітної індукції B_{ci} . Цей потік для кожного значення індукції буде постійним по всьому магнітному колі, тому що за завданням магнітні потоки розсіювання відсутні.

$$\Phi_i = B_{ci} * S_c .$$

3.3.6. Визначають магнітну індукцію в скобі (якорі) для всіх отриманих значень магнітного потоку Φ_i :

$$B_{cki} = B_{яi} = \frac{\Phi_i}{S_{ск}} .$$

3.3.7. За допомогою основної кривої намагнічування за отриманим значенням магнітної індукції B_{cki} визначають напруженість магнітного поля H_{cki} . У

випадку, якщо $S_c \succ S_{ск}$, то задаються магнітною індукцією в скобі, визначають у ній напруженість і величини магнітного потоку, а потім у сердечнику, тобто розрахунок ведуть по скобі.

3.3.8. Знаходять падіння магнітного потенціалу в сталі і неробочому повітряному зазорі:

$$F_{ст-из} = F_{ci} + F_{\Sigma i} + \frac{\Phi_i}{G_{\deltaи}},$$

де $F_{ci} = H_{ci} * l_c$ – падіння магнітного потенціалу в сердечнику, А;

$F_{\Sigma i} = H_{cki} * (h + 2l)$ – падіння магнітного потенціалу в скобі і якорі, А;

Для зручності побудови вебер–амперної характеристики результати розрахунку доцільно звести до таблиці.

Приклад: Побудувати вебер–амперну характеристику сталі і неробочого повітряного зазору магнітного кола, зображеної на рис. 2.2.

Нехай

$$S_c = 5 * 10^{-4} \text{ м}^2; S_{я} = S_{ск} = 4,5 * 10^{-4} \text{ м}^2; l_c = h = 15 \text{ см}; l_{ск} + l_{я} = h + 2 * l = 30 \text{ см};$$

магнітопровід виконаний зі сталі $\Phi_{ск} = \Phi_c = \Phi$.

Вибираємо значення магнітної індукції в скобі (якорі) (тому що $S_c \succ S_{ск}$) наступними: 0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0 Тл.

По основній кривій намагнічування сталі (рис. 2.5, рис. 2.6) знаходимо, що магнітній індукції $B_{ск1} = 0,4 \text{ Тл}$ відповідає напруженість магнітного поля $H_{ск1} = 2,2 \text{ А/см}$.

Знаходимо магнітний потік:

$$\Phi_1 = B_{ск1} * S_{ск} = 0,4 * 4,5 * 10^{-4} = 1,8 * 10^{-4} \text{ Вб}.$$

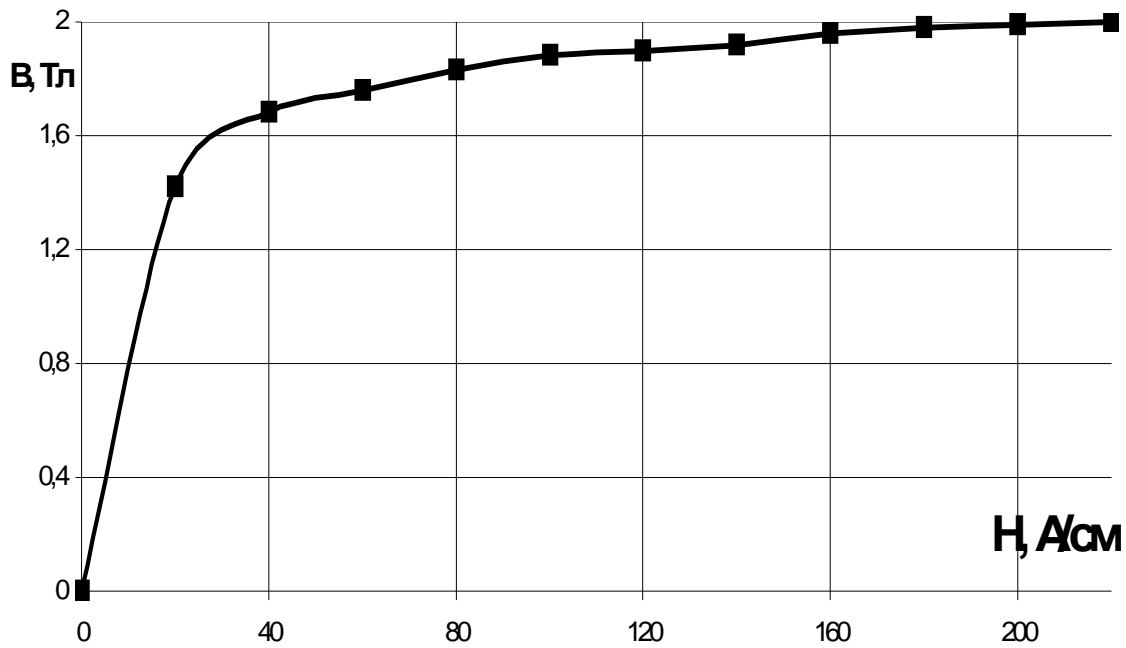


Рис. 2.5 – Крива намагнічування сталі

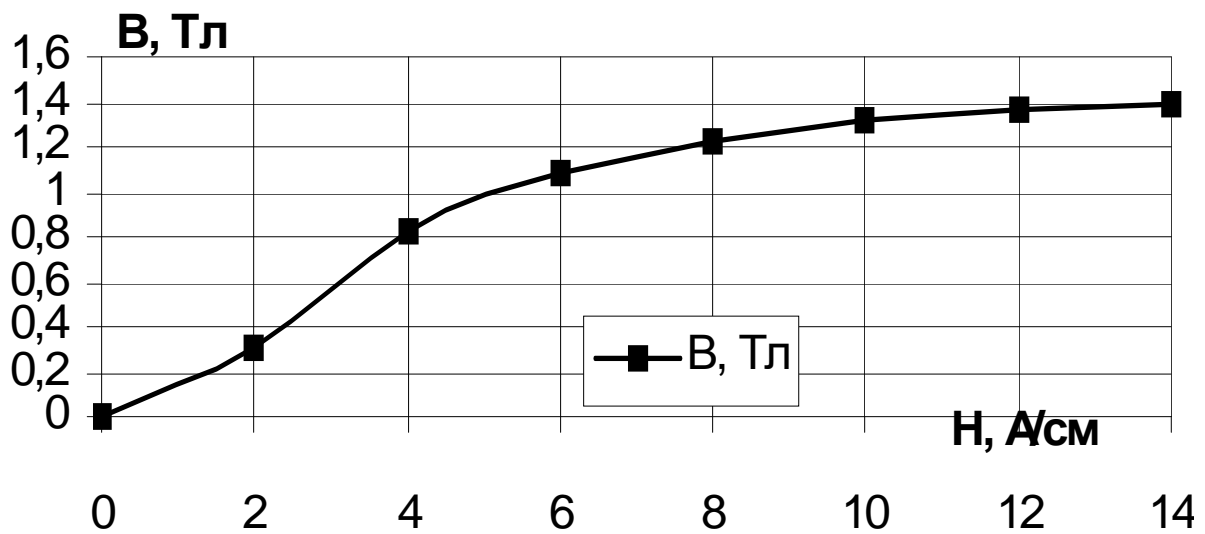


Рис. 2.6 – Початок кривої намагнічування сталі

За даним потоком визначаємо магнітну індукцію в осерді:

$$B_{c1} = \frac{\Phi_1}{S_c} = \frac{1.8 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-4}} = 0,36 \text{ Тл.}$$

По основній кривій намагнічування (рис.2.6) встановлюємо, що магнітній індукції $B_c = 0,36 \text{ Тл.}$ відповідає напруженість полючи $H_{c1} = 2,1 \text{ А/см.}$

Візьмемо магнітну провідність неробочого повітряного зазору, як таку, що дорівнює $G_{\delta_H} = 0,983 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$, котра була отримана в прикладі.

Визначаємо падіння магнітного потенціалу в сталі і неробочому повітряному зазорі при потоці $\Phi_1 = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$. Воно дорівнює

$$F_{\text{ст-нз}} = F_{c1} + F_{\Sigma 1} + \frac{\Phi_1}{G_{\delta_H}} = H_{\text{ск1}} * (l_{\text{ск}} + l_{\text{я}}) + H_{c1} l_c + \frac{\Phi_1}{G_{\delta_H}} = .$$

$$= 2,2 * 30 + 2,1 + 2,1 * 15 + \frac{1,8 * 10^{-4}}{0,983 * 10^{-6}} = 280,5 \text{ А} .$$

При інших значеннях магнітної індукції в скобі розрахунок робимо аналогічно. Результати розрахунків зводимо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

B_{cki} , Тл	0,4	0,8	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
H_{cki} , А/см	2,2	4	7,7	15	34	80	170
$F_{\Sigma i}$, А	66	120	231	450	1020	2400	5100
$\Phi_i * 10^{-4}$, Вб	1,8	3,6	5,4	6,3	7,2	8,1	9,0
B_{ci} , Тл	0,36	0,72	1,08	1,26	1,44	1,62	1,8
H_{ci} , А/см	2,1	3,5	6,2	8,8	18	38	80
F_{ci} , А	31,5	52,5	93	132	270	570	1200
F_{δ_H} , А	183	366	549	642	732	824	915
$F_{\text{ст-нз}}$, А	280,5	538,5	873	1224	2022	3794	7215

За даними таблиці 2.1 будуємо В.А.Х. сталі і неробочого повітряного зазору (рис. 2.7).

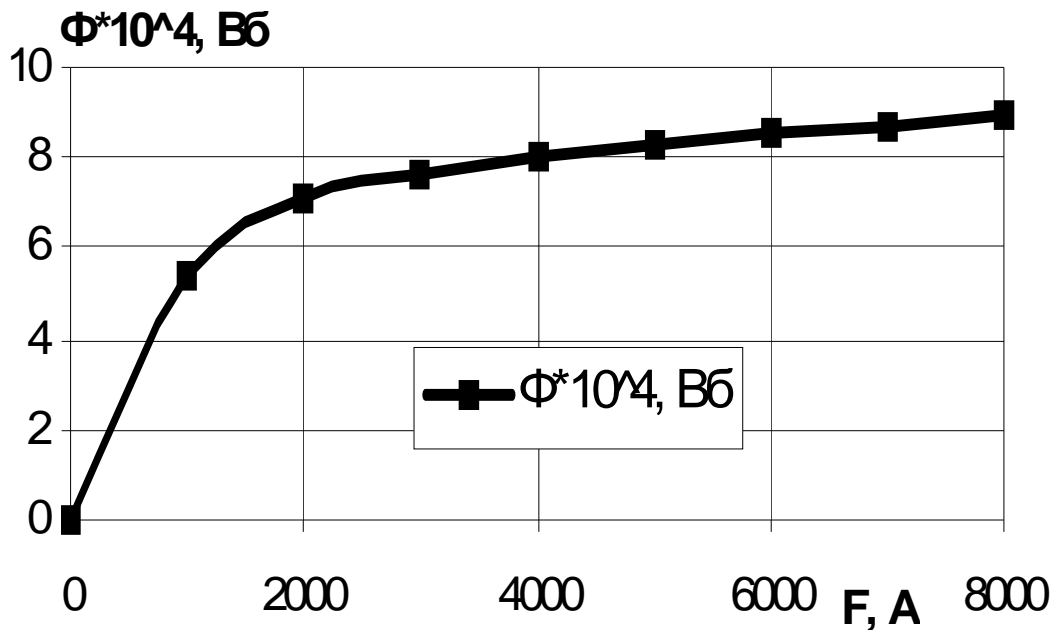


Рис. 2.7 – Вебер–амперна характеристика. сталі і неробочого повітряного зазору

2.6. Побудова тягової характеристики

Для визначення падіння магнітного потенціалу в робочому повітряному зазорі при шести положеннях якоря необхідно побудувати В.А.Х. цього зазору.

Застосовуючи другий закон Кирхгофа до контуру магнітного кола (рис. 2.4), запишемо:

$$F_{\delta}(\Phi) = I * W - F_{ст-нз}(\Phi) .$$

Тут $F = I * W$ – задана сила, що намагнічує (Н.С.) обмотки ;

$F_{ст-нз}(\Phi)$ – падіння магнітного потенціалу в сталі і неробочому повітряному зазорі.

Рішення цього рівняння робимо графічно. Для цього на графіку вебер-амперної характеристики (В.А.Х.) сталі і неробочого повітряного зазору (рис. 2.8, крива 1) відкладаємо задану Н.С. обмотки (крапка ДО, рис. 2.8) і проводимо вертикальну пряму до перетинання з кривою 1. Потім, віднімаючи абсциси кривої $F_{ст-нз}(\Phi)$ з Н.С. обмотки при незмінних значеннях магнітного потоку одержимо В.А.Х. робочого зазору $F_{\delta}(\Phi_{\delta})$ (рис. 2.8, крива 2).

Стискальне зусилля, що діє на якір, визначаємо за формулою:

$$Q_m = \frac{1}{2} * F_\delta^2 * \frac{dG_\delta}{d\delta}.$$

Падіння магнітного потенціалу F_δ у робочому повітряному зазорі при різних положеннях якоря легко знайти за допомогою отриманої кривої $F_\delta(\Phi_\delta)$. Для цього потрібно провести з початку координат (рис. 2.8) ряд прямих під кутами β_i , що відповідають значенням магнітної провідності робочого зазору для обраних δ .

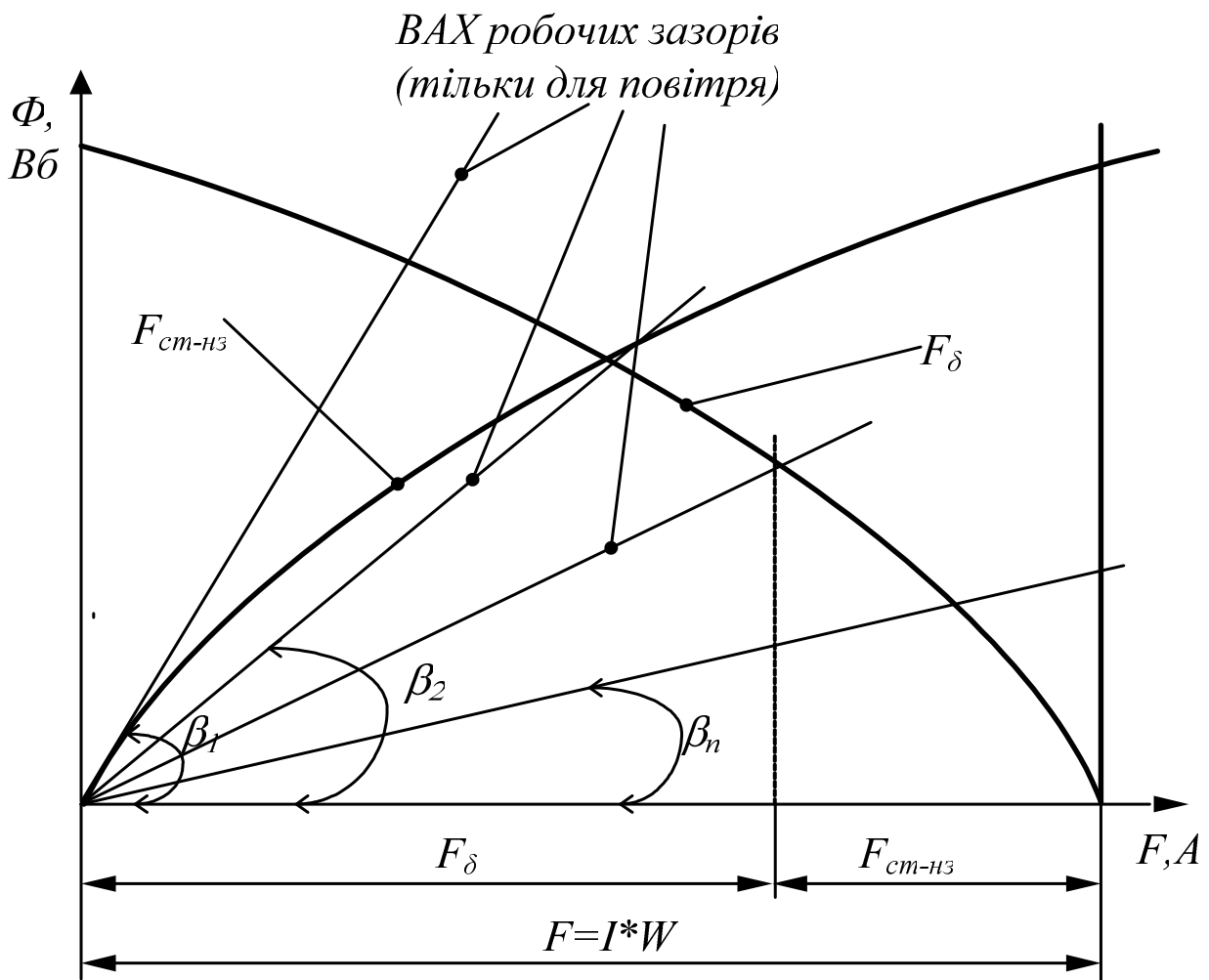


Рис. 2.8 – Вебер–амперна характеристика (В.А.Х.) сталі і неробочого повітряного зазору і визначення В.А.Х. робочого повітряного зазору

Тут m_F , m_Φ – масштаби побудови величин F , Φ .

Абсциси точок перетинання цих прямих із кривою $F_{\delta}(\Phi_{\delta})$ і дадуть шукані величини падіння магнітного потенціалу в робочому зазорі. Це випливає з того, що крива $F_{\delta}(\Phi_{\delta})$ являє собою вебер–амперну характеристику робочого зазору при різних положеннях якоря, а прямі, проведені під кутом β_i – вебер–амперні характеристики робочого зазору при конкретних положеннях якоря, для яких визначалися значення G_{δ} .

Практично для проведення прямих досить знайти координати ще однієї точки, що належить даним прямим. З цією метою задаємося деяким значенням падіння магнітного потенціалу $F'_{\delta i}$ і знаходимо магнітний потік при кожному значенні зазору за формулою:

$$\Phi = F'_{\delta i} * G_{\delta i} .$$

Значення $F'_{\delta i}$ для перших двох зазорів доцільно вибирати рівним 1000 А, а для інших – 2000 А. Тоді розрахункові операції значно спрощуються.

Через отримані точки і початок координат проводимо прямі до перетинання з кривою $F_{\delta}(\Phi_{\delta})$. Значення провідностей при різних положеннях якоря були визначені і похідні $dG_{\delta}/d\delta$. Підставляючи розраховані значення F_{δ} і похідні до формули:

$$Q_m = \frac{1}{2} * F_{\delta}^2 * \frac{dG_{\delta}}{d\delta} ,$$

знаходимо тягове зусилля. Результати розрахунків зводимо до табл. 2.2.

Таблиця 2.2

δ_i , мм							
G_{δ} , Гн							
F_{δ} , А							
$dG_{\delta}/d\delta_i$, Гн/м							
Q_m , Н							

За даними табл. 2.2 будуємо тягову характеристику електромагніта.

Приклад: За допомогою вебер–амперної характеристики робочого повітряного зазору (рис. 2.9), отриманої при розрахунку магнітного кола, побудувати тягову характеристику електромагніта. Нехай діаметр полюсного наконечника $d_n=40$ мм і максимальний робочий зазор

$$\delta_{\max} = 16 \text{ мм}$$

За формулою В. В. Вишнівського для робочого повітряного зазору $\delta = 1$ мм визначаємо магнітну провідність падінь магнітних потенціалів для заданих робочих повітряних зазорів:

$$G_{\delta 1} = \mu_0 * \frac{d_n^2}{0,00233 * d_n + 1,068 * \delta} = \frac{1,25 * 10^{-6} * 40^2 * 10^{-6}}{0,00233 * 40 * 10^{-3} + 1,068 * 1 * 10^{-3}} = 1,72 * 10^{-6} \text{ Гн} .$$

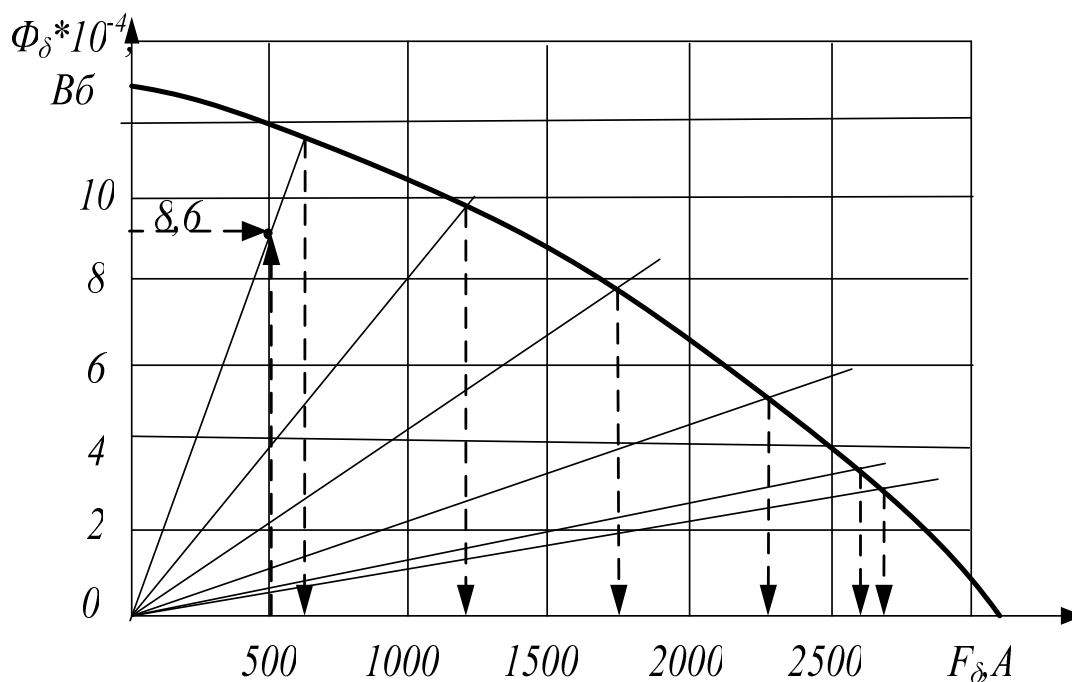


Рис. 2.9 – В.А.Х. робочого повітряного зазору і розрахунок

Для цього ж значення зазору знаходимо похідну:

$$\begin{aligned} \frac{dG_{\delta 1}}{d\delta} &= -\mu_0 * \frac{1,068 * d_n^2}{(0,00233 * d_n + 1,068 * \delta)^2} = \\ &= -\frac{1,068 * 1,25 * 10^{-6} * 40^2 * 10^{-6}}{(0,00233 * 40 * 10^{-3} + 1,068 * 1 * 10^{-3})^2} = -1,6 * 10^{-3} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} . \end{aligned}$$

Знак мінус означає, що зі збільшенням зазору похідна, а отже, і тягове зусилля зменшуються.

При $F'_\delta = 500\text{A}$ одержуємо магнітний потік,

$$\Phi = F'_\delta * G_{\delta 1} = 500 * 1,72 * 10^{-6} = 8,6 * 10^{-4} \text{ Вб}$$

Через початок координат і точку з координатами $\Phi = 8,6 * 10^{-4} \text{ Вб}$, $F'_\delta = 500\text{A}$ проводимо пряму до перетинання з кривою $F_\delta(\Phi_\delta)$, приведеної на рис. 8.

З точки перетинання опускаємо перпендикуляр на вісь абсцис і знаходимо $F_\delta = 650\text{A}$. Визначаємо тягове зусилля при $\delta = 1 \text{ мм}$.

$$Q_m = \frac{1}{2} * F_\delta^2 \frac{dG_\delta}{d\delta} = \frac{1}{2} * 650^2 * 1,6 * 10^{-3} = 338\text{Н}$$

Для інших зазорів тягове зусилля знаходимо анологічно. Результати розрахунку зводимо до табл. 3.

Таблиця 3

δ_i , мм	1	2	4	8	12	16
G_δ , Гн	$1,72 * 10^{-6}$	$0,89 * 10^{-6}$	$0,46 * 10^{-6}$	$0,28 * 10^{-6}$	$0,155 * 10^{-6}$	$0,116 * 10^{-6}$
F_δ , А	650	1100	1650	2260	2600	2700
$dG_\delta / d\delta_i$, Гн/мм	$1,6 * 10^{-3}$	$0,43 * 10^{-3}$	$0,11 * 10^{-3}$	$0,29 * 10^{-4}$	$0,13 * 10^{-4}$	$0,73 * 10^{-5}$
Q_m , Н	338	260	150	77	44	26

За даними таблиці 2.3 на рис. 2.10 побудована тягова характеристика електромагніта постійного струму клапанного типу.

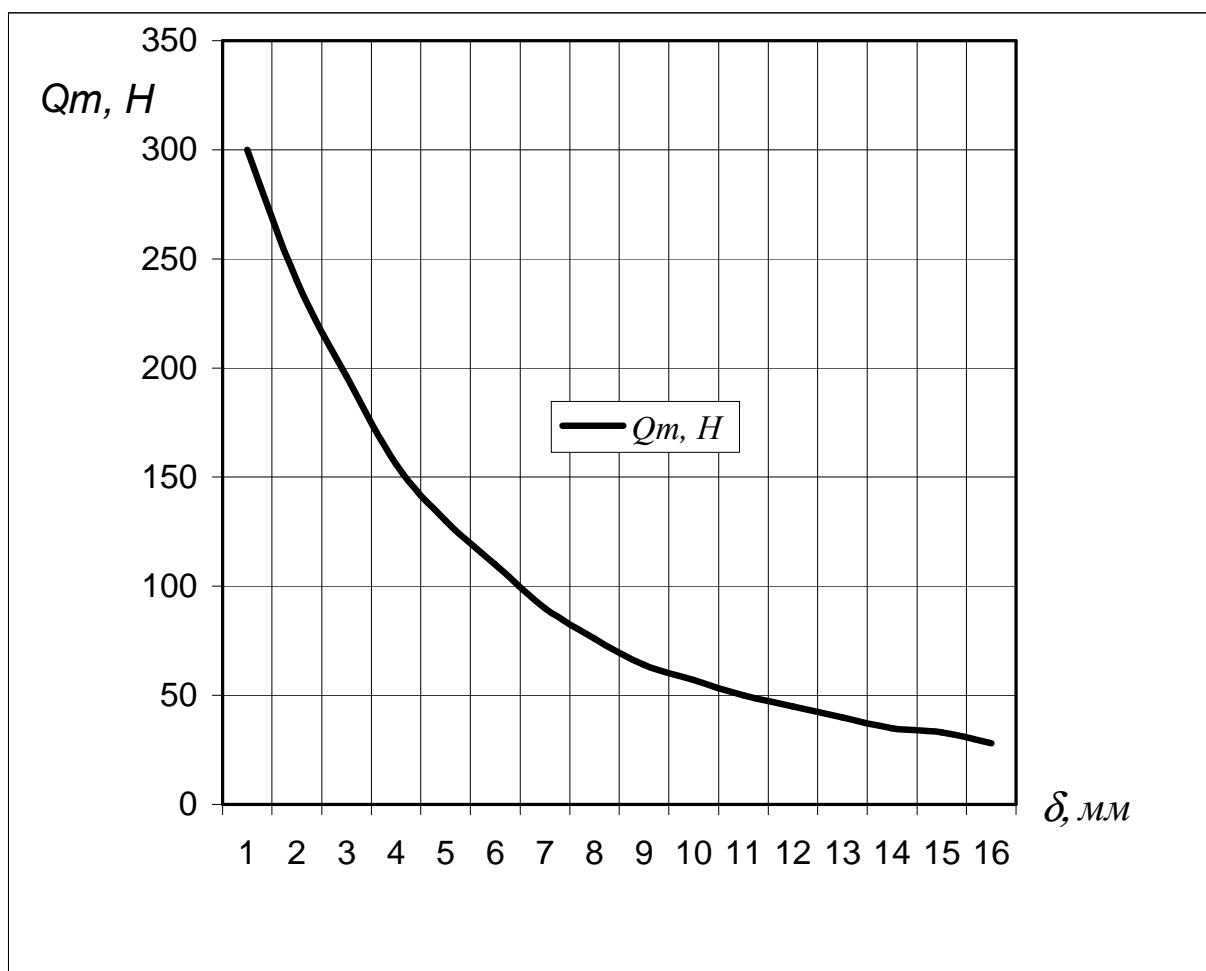


Рис. 2.10 – Тягова характеристика електромагніта клапанного типу

Додатки

Таблиця Д.1 – Варіанти завдань курсової роботи

№№ варіантів	F, A	α ,град	d_n , мм	d_c , мм	h , мм	a , мм	b , мм	l , мм
1	8000	14	45	41,5	150	15	88	120
2	7900	15	43	40,4	150	15	79	120
3	7800	16	43	41,7	150	15	83	120
4	7700	16	41	40	140	15	71,5	120
5	7600	15	41	38,5	140	14	72,5	115
6	7500	14	40	38,3	140	14	76,7	115
7	7400	15	37	37,3	130	14	72,6	115
8	7300	16	36	34,8	130	14	64,8	115
9	7200	17	35	33	130	13	61,7	110
10	7100	16	34	32,6	120	13	61,8	110
11	7000	15	33	31,3	120	13	58	110
12	6900	14	32	28,5	120	13	47,3	110
13	6800	14	31	29	110	12	55	105
14	6700	15	30	27,1	110	12	47,8	105
15	6600	16	29	28,5	110	12	47,7	105
16	6500	17	28	27,4	100	12	44,2	105
17	6400	17	29	26,5	100	11	48,2	100
18	6300	16	31	26,2	100	11	48,2	100
19	6200	15	32	26	95	11	48	100
20	6100	14	30	26,5	95	11	48,2	95
21	6000	14	31	28,8	95	10	61,5	95
22	5900	15	29	27,4	90	10	57,2	95
23	5800	16	30	25,8	90	10	49,1	90
24	5700	17	31	28,1	90	10	57,2	90
25	5600	17	29	23,8	90	9	46,1	90
26	5500	16	26	24	85	9	46,1	85
27	5400	15	27	25,4	85	9	54,5	85
28	5300	15	26	23,5	85	9	46,1	85
29	5200	16	25	22,4	80	8	47,5	80
30	5100	17	24	21,9	80	8	45,4	80
31	5000	15	23	20,5	80	8	39,3	80
32	4900	16	22	19,6	75	8	35,4	75
33	4800	17	21	17,7	75	7	34,3	75
34	4700	15	20	17,2	75	7	32,4	70
35	4600	16	19	16,9	75	7	30,5	70

Таблиця Д.2 – Варіанти завдань курсової роботи

№№ варіантів	F, A	α град	$d_{нв}$ мм	$d_{с}$ мм	h , мм	a , мм	b , мм	l , мм
1	8500	16	43,5	39,5	110	15	86	85
2	7400	15	42	38	109	15	85	84
3	8400	16	41,5	39	108	15	86	87
4	8300	14	40	37	107	14	82	86
5	8200	15	43	40	106	15	87	88
6	8100	16	42	39	111	14	88	87
7	8000	16	41	38	110	15	80	85
8	7900	15	40	37	109	14	82	86
9	7800	14	42	39	110	15	81	84
10	7700	15	39	36	112	14	83	85
11	7600	16	38	35	111	15	70	83
12	7500	17	37	34	110	14	68	80
13	7300	16	36	33	106	14	65	78
14	7200	18	35	32	105	13	64	77
15	7100	17	34	31	102	13	60	76
16	7000	16	35	32	99	14	59	75
17	6900	15	34	31	98	15	58	76
18	6800	17	32	29	97	13	57	77
19	6700	16	33	30	98	14	53	78
20	6600	17	34	31	96	13,5	57	76
21	6500	16	32	29	95	13	55	75
22	6400	18	33,5	31	95	12	68	77
23	6300	17	31	28	94	12	56	80
24	6200	16	30	27	93	11	54	79
25	6100	18	29	26	92	11	53	78
26	6000	17	28	25	88	10	55	89
27	5900	16	27	24,5	86	10	54	88
28	5800	18	27	25	87	10	55	87
29	5700	17	28,5	25,5	85	10	56	86
30	5600	16	28	25,7	84	9	60	85
31	5500	18	30,5	28	83	9	71	84
32	5400	17	29,5	28	79	9	70	79
33	5300	16	29	26,5	78	8	72	78
34	5200	15	27,5	24,8	77	8	63	77
35	5000	18	26	23,5	75	8	65	76

Таблиця Д.3 – Варіанти завдань курсової роботи

№№ варіантів	F, A	α град	$d_{нв}$ мм	$d_{с}$ мм	h , мм	a , мм	b , мм	l , мм
1	4500	16	43,5	39,5	147	15	86	115
2	4450	15	43	40	142	15	87	114
3	4400	14	38,5	37,5	142	14	84	113
4	4350	15	38	36,5	145	14	85	112
5	4300	16	40	38,5	140	13,5	92	111
6	4250	14	38	36	145	13,5	78	110
7	4200	15	38	36	130	13	85	108
8	4150	16	37	35	135	12,5	83	106
9	4100	15	36	34	135	12,5	78	104
10	4050	15	36	34,5	130	12	73	102
11	4000	14	37	34	125	12	77	100
12	3950	14	33	31,5	125	12	69	99
13	3900	15	33	31	115	11,5	68	98
14	3850	16	32	30,5	115	11,5	65	97
15	3800	17	33	31,5	110	12	65	96
16	3750	17	32	31	105	11,5	70	95
17	3700	16	32	30,5	105	11	64	94
18	3650	15	32	30	105	11	63	93
19	3600	14	31	29,5	100	11	60	92
20	3550	14	31	29	100	11	64	91
21	3500	15	32	29	100	10	63	90
22	3450	16	30	28,5	95	10	61	89
23	3400	17	31	28	95	10	59	88
24	3350	17	29	27,5	95	10	63	87
25	3300	16	28	26	95	9	61	86
26	3250	15	27	25,5	90	9	58	85
27	3200	15	27	25	90	9	56	84
28	3150	16	26	24,5	90	9	59	83
29	3050	17	25	22,5	90	8	57	82
30	3000	15	24	22	85	9	55	81
31	2950	16	23	21,5	85	8	54	80
32	2900	17	22	21	80	8	56	79
33	2850	15	23	20,5	80	7	55	78
34	2800	16	22	20	80	7	50	76
35	2750	17	22	20	80	7	49	75

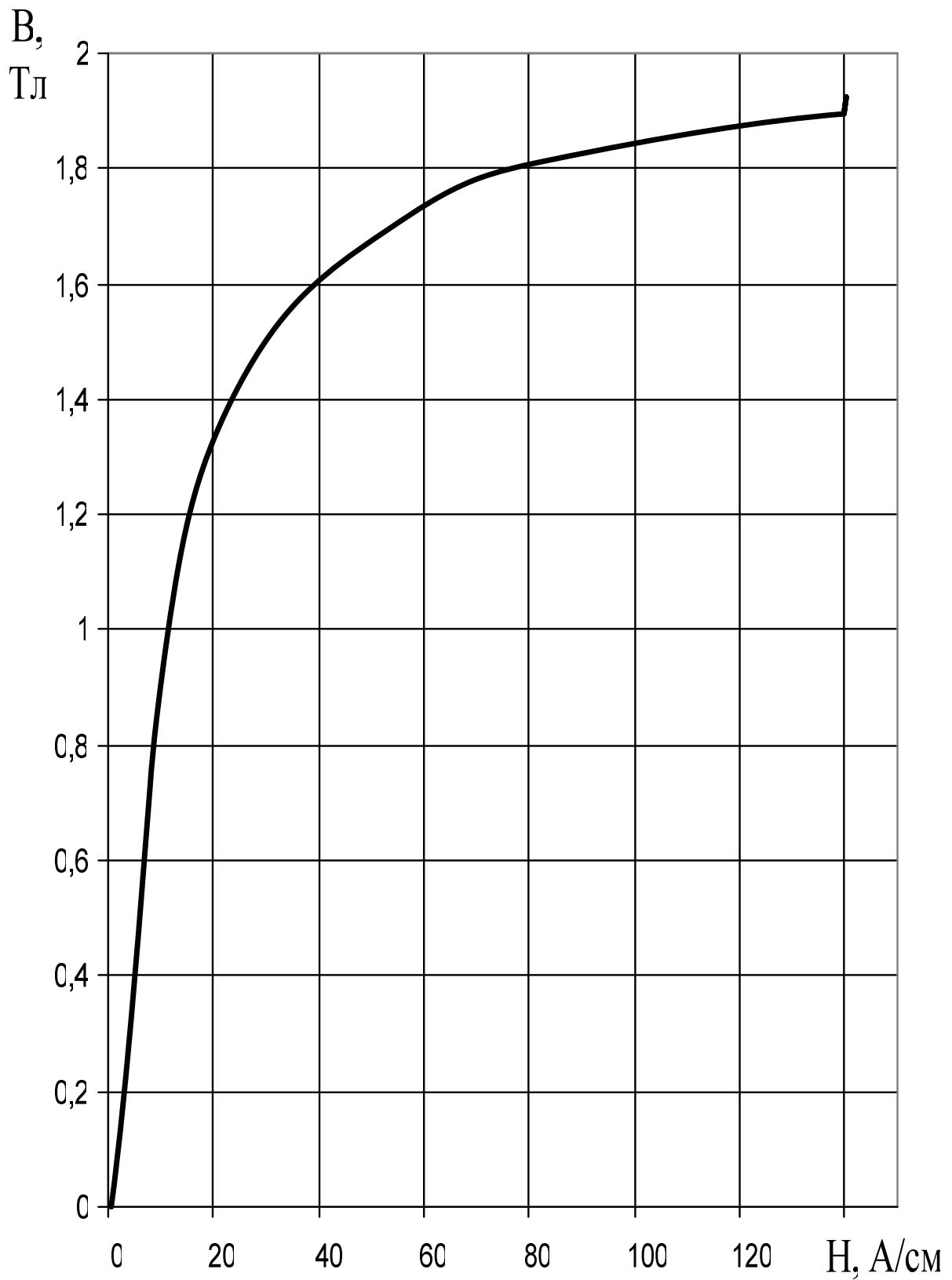


Рис. Д1 - Крива намагнічування сталі №1

$B, \text{Tл}$

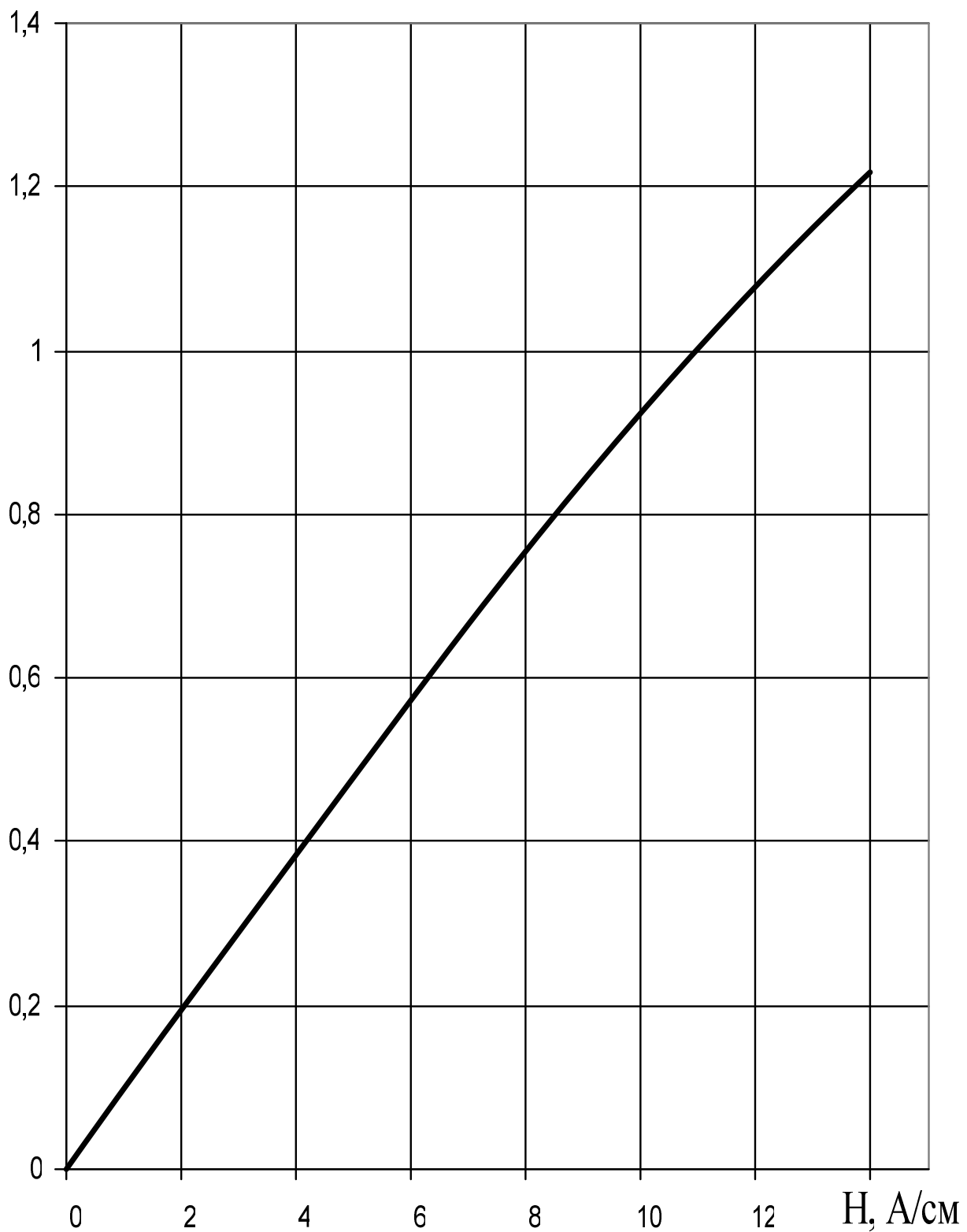


Рис. Д2 - Початок кривої намагнічування сталі №1

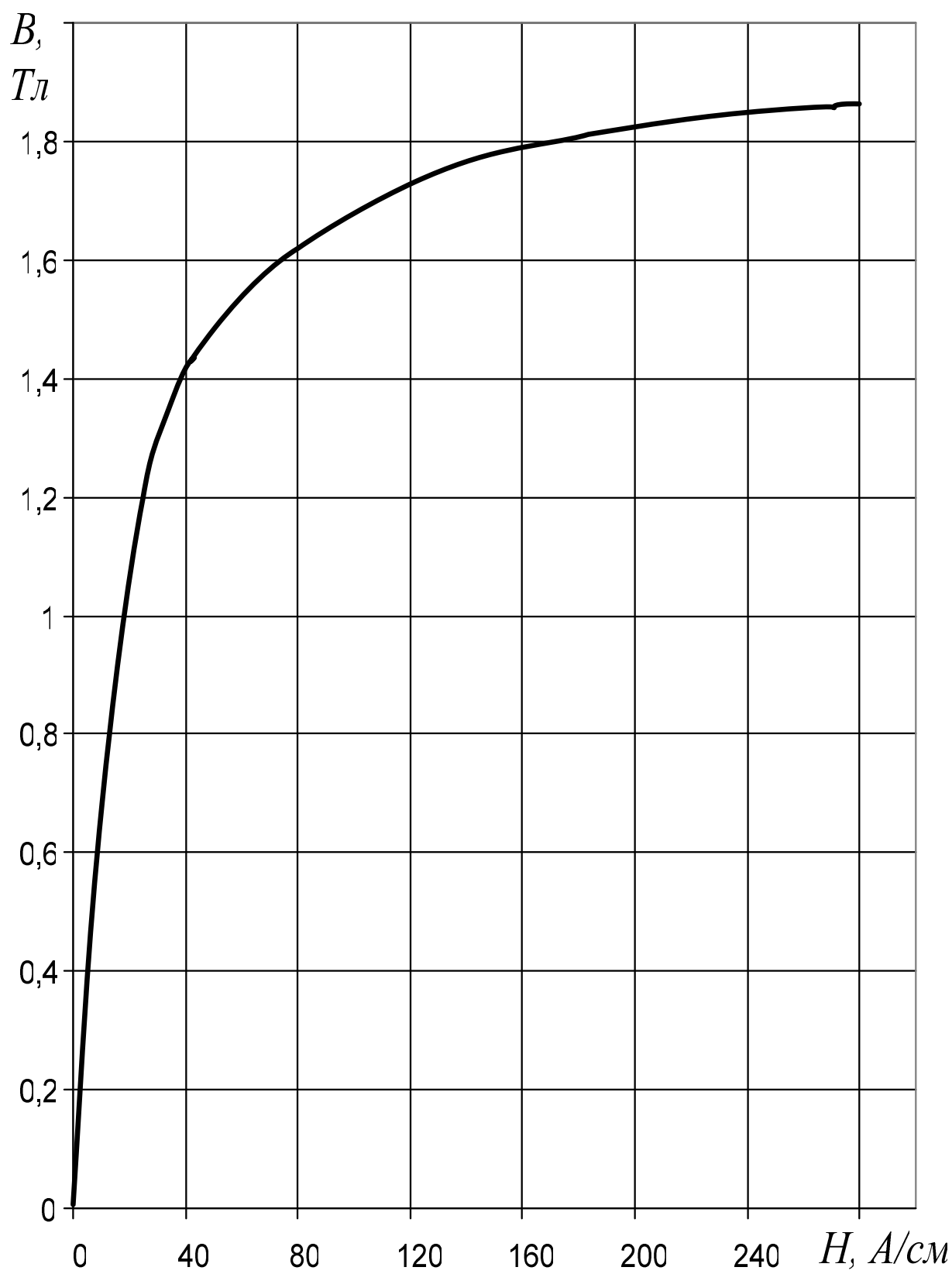


Рис. ДЗ - Крива намагнічування сталі №2

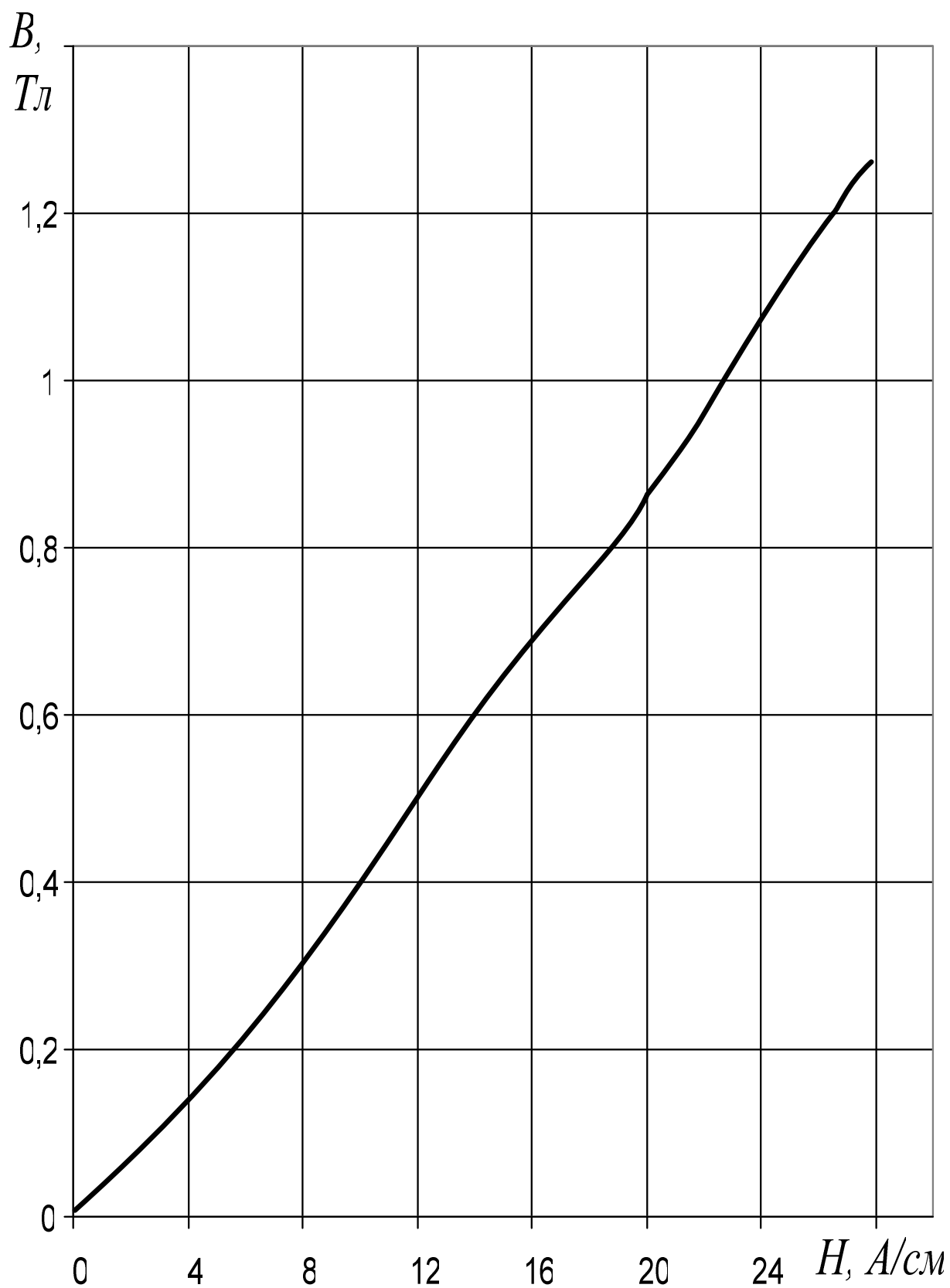


Рис. Д4 - Початок кривої намагнічування сталі №2

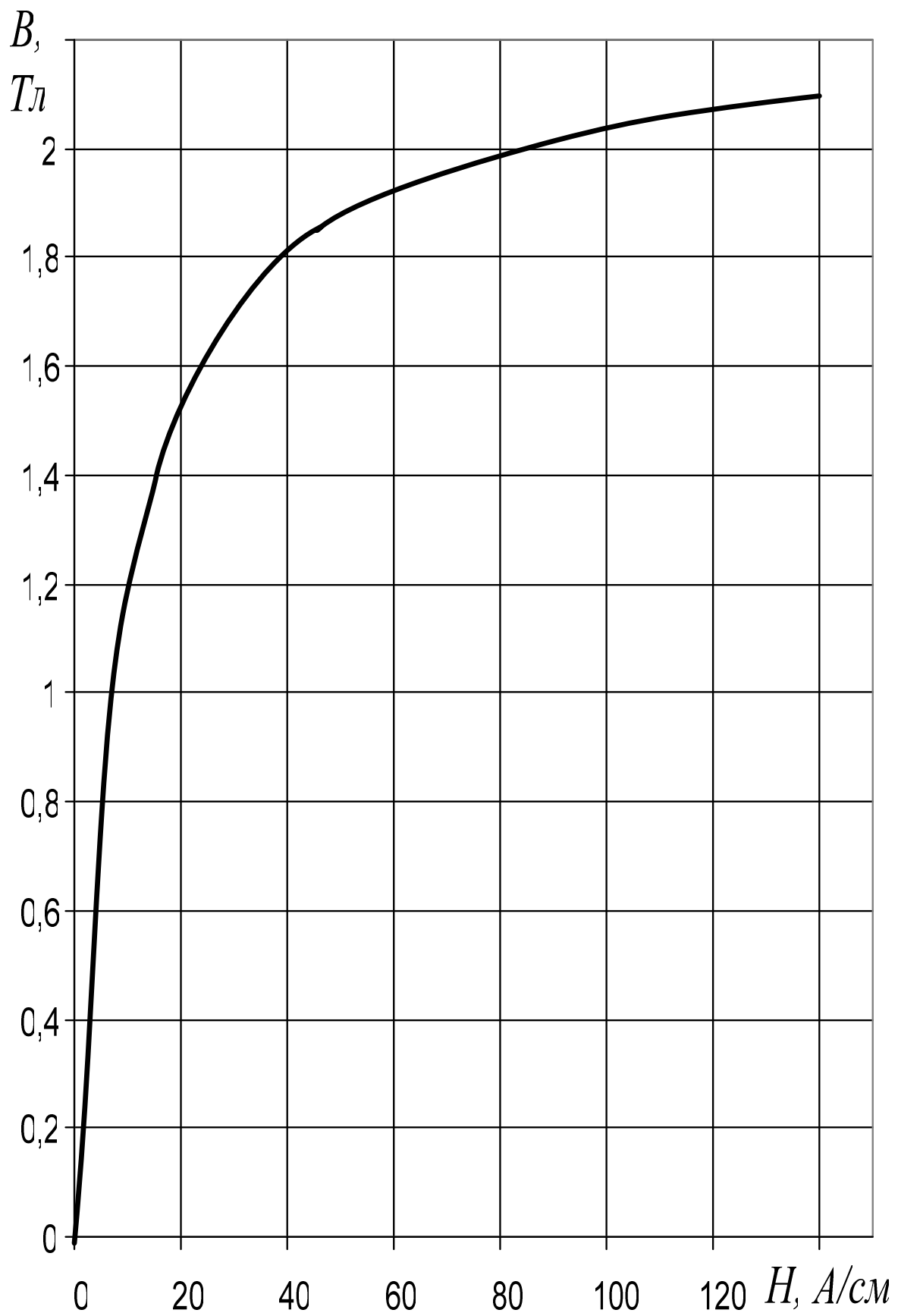


Рис. Д5 - Крива намагнічування сталі №3

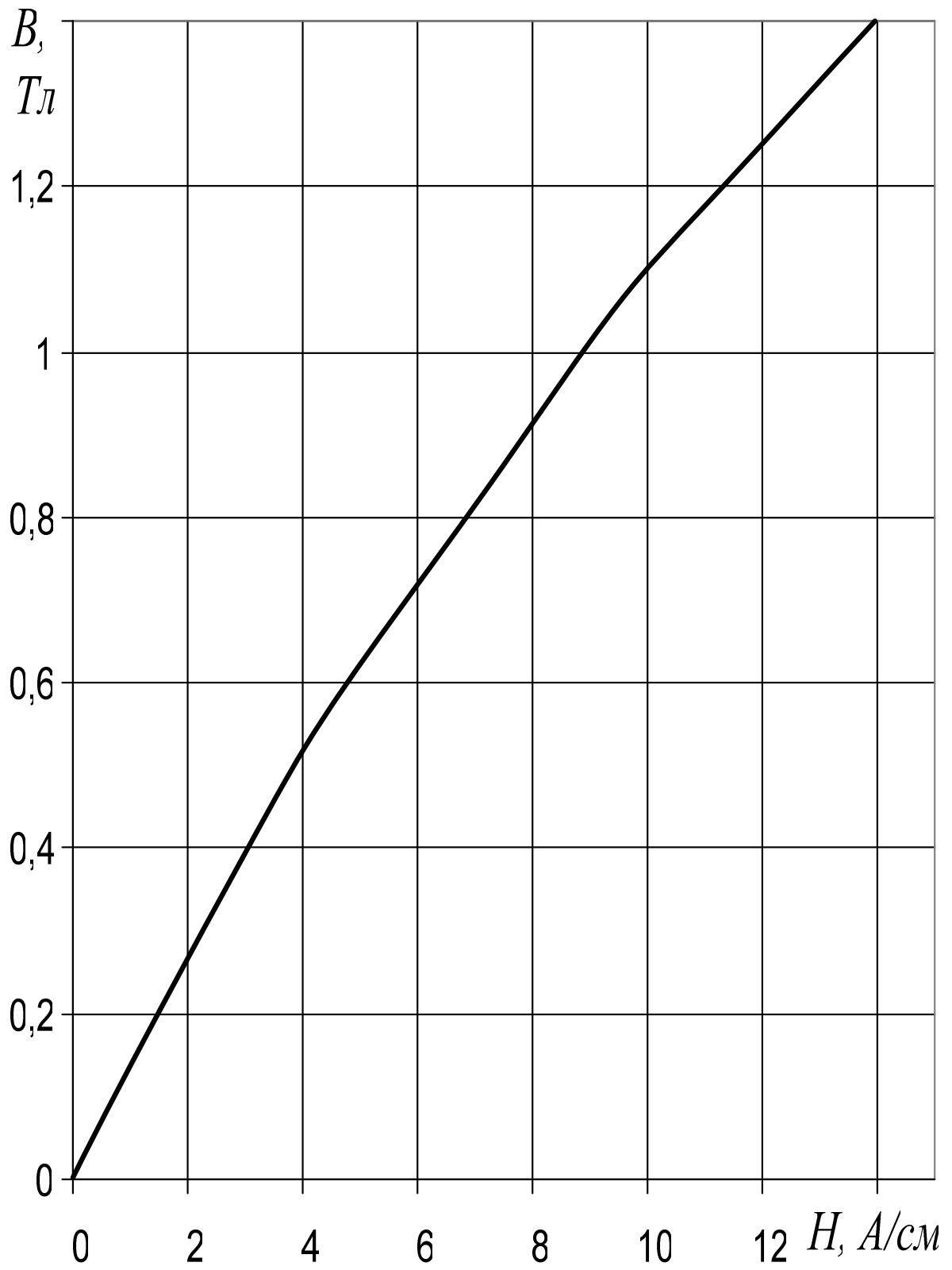


Рис. Д6 - Початок кривої намагнічування сталі №3

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Кисельов, М.І. Конспект лекцій з дисципліни «Тягові електричні апарати» (для студентів 2–3 курсів денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 0922 – «Електромеханіка») [Текст] / М. І. Кисельов, В. М. Фатеев; Харківська нац. академія міського господарства.–Х.: ХНАМГ, 2009.– 84 с.
2. ДСТУ 2846–94 (ГОСТ 11206–93) Контактори електромагнітні низковольтні. Общі технічні умови.
3. Захарченко Д. Д. Тяговые электрические аппараты. – М.: Транспорт, 1991.
4. Родштейн Л. А. Электрические аппараты.– Л.: Энергоатомиздат, 1989.
5. Основы теории электрических аппаратов./ И. С. Таев, Б. К. Буль, А. Г. Годжелло и др.–М.: Высшая школа, 1987.– 352 с.
6. Ефремов И. С., Косарев Г. В. Теория и расчет электрооборудования подвижного состава ГЭТ.– М.: Высшая школа, 1976.

Зміст

Вступ.....	3
I. Завдання до самостійної роботи.....	4
1.1. Введення до курсу.....	4
1.2. Призначення, принцип дії і методи проектування електричних апаратів	4
1.3. Методи проектування електромагнітних апаратів	5
1.4. Електромагніти.....	6
1.5. Електричні контакти.....	8
1.6. Електрична дуга.....	9
II Курсова робота.....	11
2.1. Зміст завдання і склад курсової роботи.....	12
2.2. Порядок виконання курсової роботи.....	13
2.3. Визначення магнітної провідності робочого повітряного зазору і її похідної	15
2.4. Визначення магнітної провідності неробочого повітряного зазору.....	17
2.5. Складання схеми заміщення і побудова вебер – амперної характеристики магнітного кола.....	21
2.6. Побудова тягової характеристики.....	26
Додатки.....	32
Список джерел.....	41

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки
до виконання курсової роботи
і завдання до самостійної роботи студентів
з дисципліни

„ТЯГОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ”

*(для студентів 3 курсу заочної форми навчання
напрямку підготовки 6.050702 – «Електромеханіка»
та слухачів другої вищої освіти спеціальностей
7.05070203 – «Електричний транспорт»,
7.05070202 «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»)*

Укладач **КИСЕЛЬОВ Михайло Іванович**

Редактор *Д. Ф. Курильченко*

Комп'ютерний набір *М. І. Кисельов*

Комп'ютерне верстання: *І. В. Волосожарова*

План 2010, поз. 181М

Підп. до друку 01. 02. 2012
Друк на ризографі
Тираж 50 пр.

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 2,0
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rektorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.