

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

Томский политехнический университет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан ЭФФ

_____ Евтушенко Г.С.

« ____ » _____ 2005г.

КОЭРЦИТИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СТРУКТУРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 412
для студентов специальности
190900 - "Информационно-измерительная техника и технологии"

ТОМСК 2005

УДК 621.179.

Коэрцитиметрический метод определения структуро-механических характеристик ферромагнитных материалов и изделий.

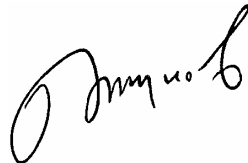
Методические указания к выполнению лабораторной работы № 412 для студентов специальности 190900 - "Информационно-измерительная техника" всех форм обучения. -Томск: изд. ТПУ. 1994 .-12с.

Составитель Б.Б. Винокуров

Рецензент доцент, к.т.н. В.Ф. Вотяков

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры информационно-измерительной техники 11 ноября 2004 г.

Зав. кафедрой ИИТ,
профессор



Жуков В.К.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 412

КОЭРЦИТИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. Цель работы: Изучить магнитные методы вообще и в частности *коэрцитиметрический метод* для определения структуромеханических характеристик ферромагнитных материалов и изделий и приобрести практические навыки работы с коэрцитиметром постоянного тока КИФМ-1.

2. Программы работы

2.1. Изучение сущности измерения коэрцитивной силы ферромагнитных образцов в постоянном магнитном поле.

2.2. Ознакомление с устройством и структурной схемой коэрцитиметра постоянного тока КИФМ-1.

2.3. Градуировка коэрцитиметра.

2.4. Исследование возможности определения структуромеханических параметров ферромагнитных образцов.

2.4.1. Определение корреляционных зависимостей между коэрцитивной силой и структуромеханическими параметрами образцов.

2.4.2. Выводы о возможности использования параметра “коэрцитивная сила” для указанных выше целей.

Примечание: по п.п.2.4. используются группы ферромагнитных образцов с заданными структуромеханическими параметрами, которые назначаются ведущим преподавателем.

2.5. Исследование влияния мешающих факторов на результаты контроля.

2.5.1. Влияние края изделия.

2.5.2. Влияние зазора между полюсами преобразователя и изделием.

2.5.3. Влияние неоднородности магнитных свойств в различных направлениях (анизотропия).

2.5.4. Влияние толщины изделия.

2.5.5. Влияние других факторов.

2.5.6. Выводы по каждому из перечисленных выше пунктов.

2.6. Определение погрешности измерения коэрцитивной силы коэрцитиметром КИФМ-1.

3. Методические указания по подготовке к работе

В процессе подготовки к лабораторной работе студенты должны самостоятельно изучить теоретические и практические вопросы, необходимые для ее выполнения. Для подготовки используются настоящие методические указания и рекомендуемая ниже литература. Качество подготовки студентов проверяется по их ответам на контрольные вопросы.

4. Рекомендуемая литература

4.1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х кн. под ред. В.В.Клюева. Т2, М.: -Машиностроение, 1976. с.82-85.

4.2. Испытания ферромагнитных материалов/ И.И. Кифер.-М.: Энергия,- 1969. с.324 - 331.

4.3. Практические вопросы испытаний металлов. Пер. с нем. Под ред. О.П.Елютина. М.: -Металлургия, 1979. с.15.

5. Контрольные вопросы

5.1. Что такое коэрцитивная сила?

5.2. В чем основа использования магнитных параметров (в частности коэрцитивной силы) для определения структурных характеристик ферромагнитных материалов?

5.3. Принцип действия коэрцитиметров постоянного тока?

5.4. Принцип работы коэрцитиметра КИФМ-1?

5.5. Устройство приставного преобразователя к коэрцитиметру КИФМ-1?

5.6. Как осуществляется градуировка прибора КИФМ - 1?

5.7. Как определить погрешность измерения коэрцитивной силы?

5.8. В чем суть нахождения корреляционной связи между магнитным и каким-либо структурным параметром ферромагнетика?

6. Общие положения контроля структуры и механических свойств по магнитным параметрам

Корреляция между магнитными и физико-химическими свойствами материалов используются для магнитного анализа и структуроскопии. Она возникает в тех случаях, когда физические и химические процессы образования и перестройки структуры металла одновременно формируют и изменяют его магнитные свойства.

Известно, что форма и размеры семейства петель гистерезиса зависят от таких свойств материала, как химический состав, кристаллографическая, анизотропия, наличие и расположение дислокаций, размеров зерен и т.д.

Сложный характер одновременного влияния различных факторов на магнитные свойства материалов, как правило, не позволяет их выделить и отдельно определить влияние каждого из них. Только в некоторых случаях имеется возможность определить влияние одного или нескольких (основных) факторов на размеры и форму петли гистерезиса. В случае, если этот фактор одновременно и однозначно влияет на другие физические свойства материала, можно установить связь между ними и использовать магнитные свойства для контроля физических и химических свойств или параметров.

В настоящее время нет общей теории магнитной структуроскопии, поэтому в каждом конкретном случае приходится находить корреляцию между магнитными и другими свойствами материалов. В тех случаях, когда наличие такой корреляции известно из литературных источников, ее необходимо проверять и устанавливать применительно к конкретным условиям.

Из большого разнообразия магнитных параметров, находящихся в корреляционных связях со структурно-механическими параметрами особое место занимает *коэрцитивная сила* H_C . Это объясняется прежде всего относительной простотой ее измерения, наличием корреляционных связей с большим числом структурных параметров, независимостью ее от геометрии образцов.

Коэрцитивная сила представляет собой напряженность магнитного поля H_C , необходимую для уменьшения остаточной намагниченности (индукции) ферромагнетика до нуля. При этом поле H_C обратно по направлению полю, создавшему эту остаточную намагниченность (индукцию). Коэрцитивная сила определяется точкой пересечения нисходящей ветви петли гистерезиса (предельной или частной) с осью напряженностей.

Приборы, служащие для измерения коэрцитивной силы называются *коэрцитиметрами*. В этих приборах используемый образец намагничивают до значения индукции B_m (для предельных циклов $B_m = B_s$), а затем измеряют значение обратного магнитного поля, под действием которого остаточная намагниченность (индукция) доводится до нуля. Для намагничивания и размагничивания образцов служат различные полезадающие системы - соленоиды, приставные электромагниты, а в качестве индикаторов нуля намагниченности (индукции) - магнитные стрелки, индукционные катушки, преобразователи Холла, ферроиндукционные преобразователи - феррозонды и другие.

7. Устройство и принцип действия коэрцитиметра КИФМ-1

Прибор КИФМ-1 представляет собой коэрцитиметр постоянного тока с приставным электромагнитом в цепи намагничивания и размагничивания и ферроиндукционным преобразователем (феррозондом) в цепи индикации нуля намагниченности (индукции).

7.1 Структурная схема коэрцитиметра(рис.1)

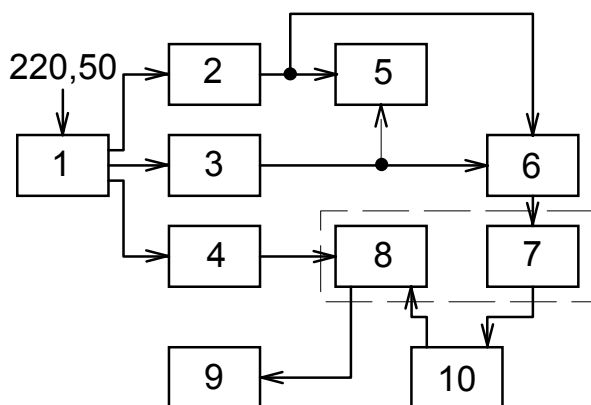


Рис.1

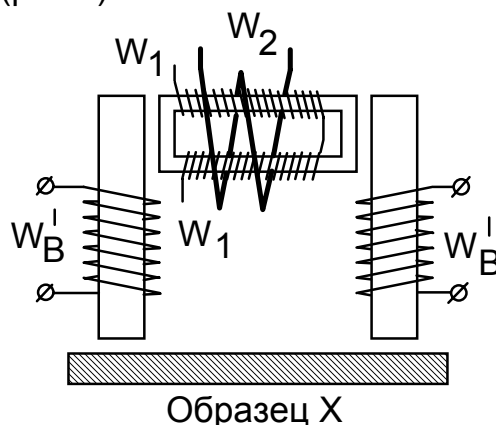


Рис.2

К силовому трансформатору 1 подводится напряжение питания 220 В, 50 Гц. Через него осуществляется питание намагничивающей, размагничивающей и цепи возбуждения феррозонда. Для этого в схеме предусмотрены стабилизированный регулируемый источник размагничивающего тока 2 с индикатором токов намагничивания и размагничивания 5, стабилизированный источник намагничивающего тока 3, генератор возбуждения 4 феррозонда 8. Подключение источников намагничивающего тока к намагничивающему устройству 7 осуществляется через коммутатор 6. Намагничивающее устройство 7 и феррозонд 8 представляют собой собственно преобразователь, который взаимодействует с контролируемым изделием 10. Значение коэрцитивной силы определяется по показанию индикатора 5 размагничивающего тока в момент, когда на выходе фазометрической схемы 9 имеет место нулевое показание.

7.2. Преобразователь коэрцитиметра (рис.2)

Преобразователь представляет собой приставной электромагнит с магнитопроводом П-образной формы, выполненный из электротехнической стали. На сердечниках магнитопровода размещены обмотки, выполненные в виде двух катушек ($W_B-W'_B$), соединенных последовательно - согласно.

В верхней части электромагнита, в зазоре между сердечниками размещен феррозонд, выполняющий роль индикатора нуля поля. Феррозонд содержит замкнутый сердечник в форме прямоугольной рамки, набранный из пластин трансформаторной стали. На двух противоположных сторонах сердечника размещены обмотки возбуждения феррозонда (W_1-W_1), которые соединены между собой последовательно - согласно. Поверх их размещена измерительная обмотка W_2 .

Электромагнит помещен в электромагнитный экран (корпус), на боковых стенках которого в целях удобства эксплуатации крепятся специальные рифленые планки.

7.3. Элементы управления и индикации, расположенные на лицевой стороне электронного блока:

- миллиамперметр для измерения тока размагничивания;
- микроамперметр для индикации потока намагниченности контролируемого изделия;
- переключатель "Пределы измерения" для переключения пределов измерения тока размагничивания : 50, 100 и 200 мА;
- переключатель "Чувствительность" для изменения чувствительности индикатора намагниченности контролируемого изделия;
- ручки регулировки тока размагничивания, снабженные надписями "Рег.тока размагничивания", "Грубо", "Точно";
- переключатель "Измерение" для включения намагничивающих измерительных цепей прибора;
- сигнальная лампа "Намагничивание" - для индикации прохождения импульсов тока намагничивания по намагничивающей обмотке преобразования;
- переключатель "Сеть" для включения напряжения питающей цепи.

7.4. Подготовка прибора к работе

7.4.1. Подключить преобразователь к блоку измерения через разъем, расположенный на задней стенке корпуса.

7.4.2. Проверить установку механического нуля показывающих приборов.

7.4.3. Установить ручки резисторов “Грубо” и “Точно” в крайнее левое положение.

7.4.4. Переключатель “пределы измерения” установить в положение “200”, а переключатель “чувствительность” - в положение 1.

7.4.5. Включить прибор в сеть 220 В, 50 Гц.

7.5. Порядок измерения коэрцитивной силы.

7.5.1. Установить преобразователь на образец или участок изделия, подлежащий контролю.

7.5.2. Перевести переключатель в положение “Измерение”. После прохождения намагничивающих импульсов тока по обмотке электромагнита преобразователя, что фиксируется по включению сигнальной лампы “Намагничивание”, стрелка амперметра нуль-индикатора отклонится влево до упора.

7.5.3. Установить стрелку нуль-индикатора на нулевую отметку шкалы путем плавного вращения ручек резисторов “Грубо”, “Точно” по направлению часовой стрелки.

7.5.4. По шкале миллиамперметра определить значение тока размагничивания (i_p), соответствующего нулевым показаниям микроамперметра. Если показания миллиамперметра составляют менее половины шкалы, то целесообразно перейти на более чувствительный предел измерения.

Измеренное значение тока размагничивания пропорционально коэрцитивной силе испытуемого изделия и рассчитывается по формуле:

$$H_C = \frac{i_p - i_0}{B}, \text{ где } i_0 - \text{значение тока размагничивания магнитопровода}$$

преобразователя, B - коэффициент регрессии.

Значения обоих параметров определяется экспериментально, либо указаны в инструкции к конкретному коэрцитиметру.

7.5.5. После окончания измерения переключатель “Измерение” и ручки переменных резисторов “Грубо” и “Точно” установить в исходное положение. На этом цикл измерения заканчивается и прибор готов к следующему измерению.

7.6. Методика градуировки коэрцитиметра

Градуировка коэрцитиметра КИФМ-1 по аттестованным образцам изделий заданного типоразмера с известной коэрцитивной силой заключается в определении коэффициента регрессии B и размагничивающего тока магнитопровода датчика i_0 уравнения $i_p = bH_C + i_0$, связывающего показания коэрцитиметра (i_p) с известными значениями коэрцитивной силы.

Значение B и i_0 определяются экспериментально, для чего необходимо по данным измерений на образцах, построить график зависимости i_p от H_c (рис.3).

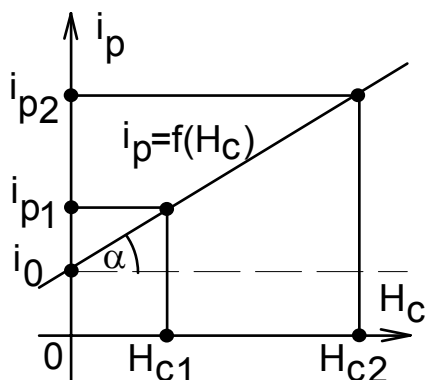


Рис.3

Коэффициент B определяется через тангенс угла наклона α прямой ($i_p = BH_c + i_0$) к оси H_c , а i_0 - как отрезок, отсекаемый этой прямой на оси i_p

$$B = \frac{i_{p2} - i_{p1}}{H_{c2} - H_{c1}}$$

8. Методические указания по выполнению лабораторной работы

8.1. Градуировка коэрцитиметра осуществляется либо по известным значениям коэффициента регрессии B и тока размагничивания магнитопровода i_0 для конкретного коэрцитиметра, либо с использованием контрольных образцов с известными значениями H_c по методике, описанной в п.7.6. настоящего описания.

8.2. Исследования возможности определения структурно-механических параметров ферромагнитных образцов путем измерения значений их коэрцитивных сил. Для исследования используется группа из не менее 5 образцов с известными структуромеханическими характеристиками (твердость, температура закалки, температура отпуска и др.). Эти данные выдает и определяет конкретное задание ведущий преподаватель. Процесс исследования состоит из нескольких этапов.

8.2.1. Измерение значений H_c для всех образцов данной группы по методике п.п. 7.4. и 7.5. Данные внести в табл. 1.

Таблица 1

	X_i	H_c (y_i)	X'_i	Y'_i	$(X'_i)^2$	$(Y'_i)^2$	$X'_i Y'_i$	Примечание.
	[...]	[A/м]						
1								
2								
3								
...								
n								

8.2.2. Определение корреляционной зависимости между H_c и заданным структурномеханическим параметром X .

8.2.3. Графическое построение зависимости $H_c = f(X)$. На одном графике строятся экспериментальные точки и кривая (прямая), полученная в п. 8.2.2.

8.2.4. Выводы о возможности использования *коэрцитивной силы* - как *информативного параметра* при определении тех или иных структурно-механических параметров ферромагнитных образцов.

8.3. Исследование влияния мешающих факторов на результаты контроля .

Под мешающими факторами в данном случае имеются в виду те, которые влияют на результаты контроля или измерения и не являются основными. Так, например, при измерении твердости, на выходные результаты будут влиять такие факторы, как зазор между преобразователем и изделием, расстояние от преобразователя до края изделия и другие, которые в процессе измерения могут не оставаться постоянными. Все это снижает достоверность контроля или измерения.

В данной работе рассматриваются лишь некоторые факторы , которые могут дать представление об их роли в процессе контроля.

8.3.1. Влияние края изделия

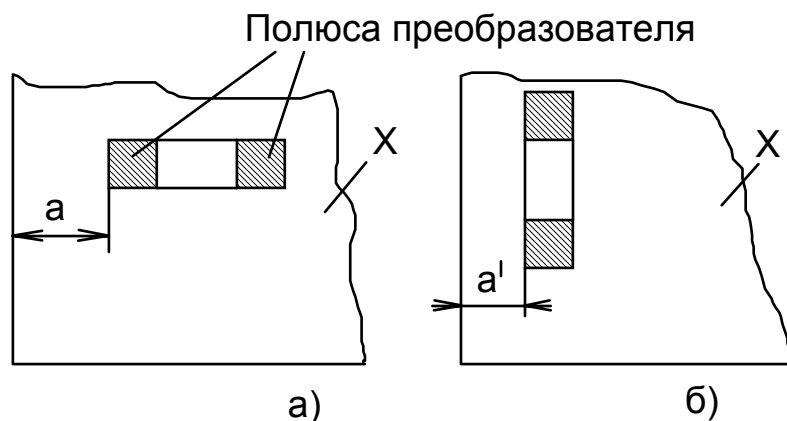


Рис.4

Возможны два случая расположения преобразователя относительно края изделия (рис.4,а и б):

- а) Линия полюсов перпендикулярна линии края;
- б) Линия полюсов параллельна линии края.

Для исследования выбирается изотропный плоский образец. Для различных значений a или a' (см.рис.4) измеряются значения H_C . Данные занести в табл. 2 и построить графики $H_C = f(a)$ и $H_C = f(a')$ для обоих вариантов относительного расположения преобразователя и изделия.

Таблица 2

a	мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H_C	А/м										
a'	мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H_C	А/м										

По полученным графикам сделать выводы.

8.3.2. Влияние зазора между полюсами преобразователя и контролируемым изделием.

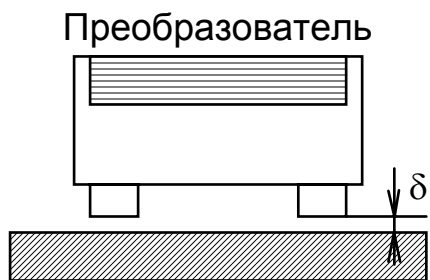


Рис.5

Для исследования выбирается плоский образец, а преобразователь размещается в место, где влияние края изделия пренебрежимо мало.

Значение зазора δ можно смоделировать, применяя набор диэлектрических прокладок определенной толщины.

Для каждого из эквивалентных зазоров измеряются значения H_c .

Данные занести в таблицу 3 и построить зависимость $H_c = f(\delta)$. По полученным графикам сделать выводы.

Таблица 3

δ , мм						
H_c , А/м						

8.3.3. Влияние неоднородности магнитных свойств в различных направлениях (анизотропия). Исследование можно проводить на предыдущих ферромагнитных образцах с однородной структурой в различных направлениях либо на специально подобранном образце с выраженной анизотропией (Рис.6).

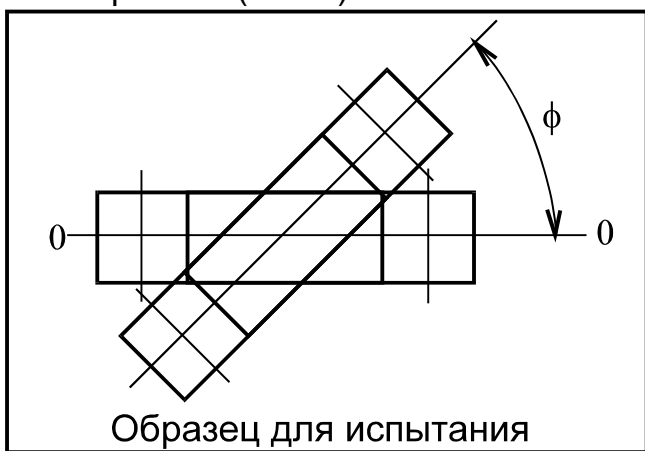


Рис.6

Определяется зависимость показаний коэрцитиметра от угла ϕ . Для этого выбирается произвольное направление, от которого необходимо отсчитывать углы взаимного ориентирования ϕ .

Весь сектор разбивается на ряд одинаковых углов. Устанавливая поочередно преобразователь вдоль этих направлений, измеряют для каждого из них значения

коэрцитивной силы. Данные измерений заносятся в табл. 4.

Таблица 4

ϕ , град						
H_c , А/м						

В полярных координатах построить зависимость $H_c=f(\phi)$ - диаграмму направленности и по полученным данным сделать выводы.

8.3.4. Исследование влияния других факторов, перечень которых может быть предложен ведущим преподавателем или выбран студентом.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Подбор параметров аппроксимирующих функций методом наименьших квадратов. (Описываемая методика заимствована из книги Е.С.Вентцеля. Теория вероятностей. М.:-Наука,1989, с.357 - 361).

1. АППРОКСИМАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИЕЙ ВИДА $y = ax + b$.

Коэффициенты “а” и “b” определяются путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \alpha_{1,1}^*[XY] - a \cdot \alpha_2^*[X] - bm_x^* = 0 \\ m_y^* - am_x^* - b = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

$$\text{где } m_x^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad m_y^* = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad \alpha_2^*[X] = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} \text{ и } \alpha_{1,1}^*[XY] = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n}.$$

$$\text{Из системы (1) следует, что } a = \frac{\alpha_{1,1}^*[XY] - m_x^* m_y^*}{\alpha_2^*[X] - (m_x^*)^2} \text{ и } b = m_y^* - am_x^*.$$

1.2. АППРОКСИМАЦИЯ ПАРАБОЛОЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА ВИДА $y=ax^2+bx+c$

Коэффициенты “а”, “b” и “с” определяются путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \alpha_4^*[X]a + \alpha_3^*[X]b + \alpha_2^*[X]c = \alpha_{2,1}^*[XY], \\ \alpha_3^*[X]a + \alpha_2^*[X]b + \alpha_1^*[X]c = \alpha_{1,1}^*[XY], \\ \alpha_2^*[X]a + \alpha_1^*[X]b + \alpha_0^*[X]c = \alpha_{0,1}^*[XY] \end{cases}, \quad (2)$$

$$\text{где } \alpha_1^*[X] = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \alpha_2^*[X] = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}, \quad \alpha_3^*[X] = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^3}{n}, \quad \alpha_4^*[X] = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^4}{n},$$

$$\alpha_0^*[X] = 1, \quad \alpha_{0,1}^*[XY] = \alpha_1^*[Y], \quad \alpha_{1,1}^*[XY] = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n}, \quad \alpha_{2,1}^*[XY] = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 y_i}{n}.$$

КОЭРЦИТИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СТРУКТУРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРОМАГНИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Методические указания

Составитель: Винокуров Борис Борисович

Подписано к печати _____
Формат 60x84/16. Бумага писчая N2
Плоская печать. Усл. печ. л. 0.87. Уч.-изд. л. 0.79
Тираж ____ экз. Заказ _____ Бесплатно.
Ротапринт ТПУ. 634004, Томск, пр. Ленина, 30