

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПЕТЛИ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА МАТЕРИАЛОВ

1. Введение

Большое разнообразие свойств магнитных материалов обусловило их широкое распространение в технике. Знание параметров магнитных свойств материалов, получаемых на основе изучения кривых их намагничивания, используются в промышленности для контроля технологических процессов изготовления различных ферритов с заранее заданными свойствами, для контроля качества получения железа, для разработки мощным электромагнитных полей с одновременным уменьшением их размера, для разработки новых магнитоstrictionных материалов, используемых в различных датчиках, резонаторах, стабилизаторах, реле, фильтрах, преобразователях звуковых и ультразвуковых частот и т.п. Центральное место в изучении свойств магнитных материалов занимает метод, основанный на изучении динамической петли гистерезиса.

Цель работы – изучение динамической петли магнитного гистерезиса для исследования основных магнитных свойств по кривой намагничивания.

2. Краткая теория

Вещества, способные намагничиваться во внешнем магнитном поле, называются **магнитными**. По величине магнитной восприимчивости, её зависимости от напряженности магнитного поля, температуры и других факторов выделяют пять видов магнитных веществ: диамагнетики, парамагнетики и антиферромагнетики образуют группу слабомагнитных веществ; ферромагнетики и ферримагнетики относятся к группе сильномагнитных веществ.

Ферро- и ферримагнетики обладают рядом особенностей, отличающих их от диа- и парамагнетиков. К ним относятся зависимость намагниченности и магнитной восприимчивости от напряженности внешнего магнитного поля и от предшествующего магнитного состояния (гистерезис); достижение магнитного насыщения в сильных магнитных полях; наличие областей самопроизвольного намагничивания (доменов), имеющих собственную намагниченность почти в насыщении даже при отсутствии внешнего магнитного поля; зависимость магнитных свойств от температуры и существование особого значения температуры (точки Кюри), выше которой вещество теряет выше перечисленные особенности и становится парамагнетиком.

Возникновение магнитных свойств у ферромагнетиков связано с существованием у них доменной микроструктуры. Домены, в которых магнитные моменты атомов ориентированы параллельно, возникают даже в отсутствие внешнего магнитного поля. Главную роль в возникновении ферромагнетизма отводят силам обменного взаимодействия между атомами, возникающим за счёт некомпенсированных спинов электронов.

Кристаллическая структура ферромагнетиков представлена в основном тремя типами кристаллической решётки: кубической гранецентрированной, кубической объёмноцентрированной и гексагональной. Характер зависимости индукции B магнитного поля в материале от напряжённости H внешнего магнитного поля показывает, что они по своим свойствам являются магнитноанизотропными.

Намагниченность ферромагнетика во внешнем магнитном поле происходит за счёт изменения формы и ориентации доменов. В слабых полях наблюдается обратимый процесс смещения доменных границ. Увеличение магнитного поля приводит к необратимым изменениям в расположении доменных границ. В области сильных полей намагниченность выходит на насыщение, когда возникает параллельная ориентация магнитных моментов доменных областей.

При последующем уменьшении напряжённости магнитного поля изменение намагниченности происходит уже по другой кривой. При $H = 0$ из-за необратимого смещения границ доменных областей сохраняется некоторая намагниченность, характеризующаяся индукцией магнитного поля $B_{\text{ост}}$, и называемая **остаточной намагниченностью**. При увеличении значений размагничивающего поля (поля, направленного в противоположную сторону) образец постепенно размагничивается и его намагниченность становится равной нулю при некотором значении напряжённости $-H_c$, которая называется **коэрцитивной силой**. Т.е. коэрцитивная сила – это такая напряжённость размагничивающего поля, при которой намагниченность образца снимается полностью. При дальнейшем увеличении напряжённости размагничивающего поля образец начинает намагничиваться в противоположном направлении вплоть до насыщения. Затем, последующее размагничивание происходит по кривой, симметричной предыдущей. Полный цикл перемагничивания при изменении напряжённости внешнего магнитного поля от $-H_{\text{макс}}$ до $H_{\text{макс}}$ описывается **петлёй гистерезиса**. При проведении неполного (частичного) цикла намагничивания до некоторых значений $H < H_{\text{макс}}$ получают **частную петлю гистерезиса** (кривая 3 на рисунке 1). При проведении же полного цикла намагничивания при $H = H_{\text{макс}}$ получают так называемую **статическую петлю гистерезиса** (кривая 2 на рисунке 1). Важное значение имеет **основная кривая намагничивания** (кривая 1 на рисунке 1), представляющая собой геометрическое место вершин частных петель гистерезиса, полученных при циклическом перемагничивании, и отражает изменение индукции B при изменении напряжённости H .

По кривой гистерезиса определяются следующие величины:

- остаточная намагниченность $B_{\text{ост}}$;

- коэрцитивная сила H_c (соответствует напряженности внешнего поля при $B = 0$);
- индукция насыщения (соответствует максимальному значению индукции $B_{\text{макс}}$);
- дифференциальная магнитная проницаемость (угол наклона в каждой точке петли гистерезиса) $\mu_d = \mu_0 \frac{dB}{dH}$;
- максимальная удельная магнитная энергия $\omega_{\text{макс}} = \frac{1}{2}(B_{\text{макс}} H_{\text{макс}})$.

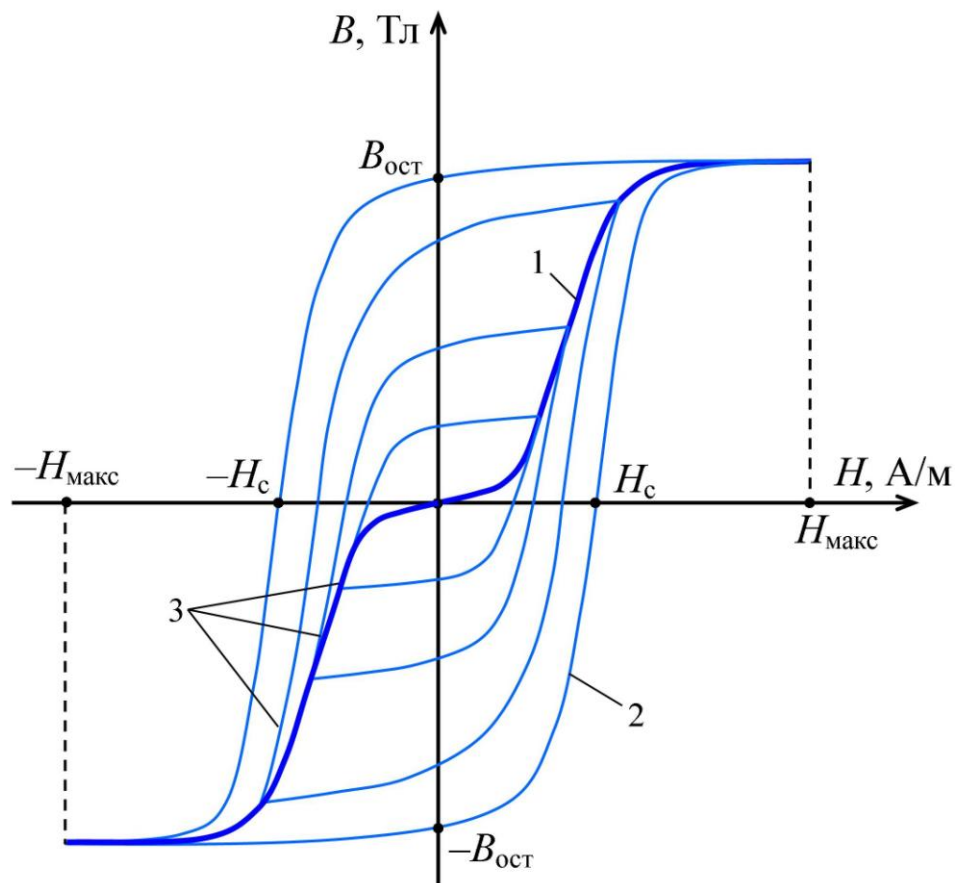


Рисунок 1 – Петля магнитного гистерезиса

(1 – основная кривая намагничивания, 2 – статическая петля гистерезиса, 3 – частные петли гистерезиса)

Различают магнитомягкие и магнитотвёрдые материалы. **Магнитомягкие материалы** способны намагничиваться до насыщения в слабых внешних полях, обладают высокой магнитной проницаемостью, малыми потерями на перемагничивание и малой коэрцитивной силой. Условно к магнитомягким относятся материалы с $H_c < 4$ А/м. **Магнитотвёрдые материалы** обладают большой удельной магнитной энергией и повышенным значением коэрцитивной силы (до 10^5 А/м). Намагничивание магнитомягких материалов происходит в основном за счёт смещения доменных границ, а магнитотвёрдых – за счёт вращения вектора намагниченности.

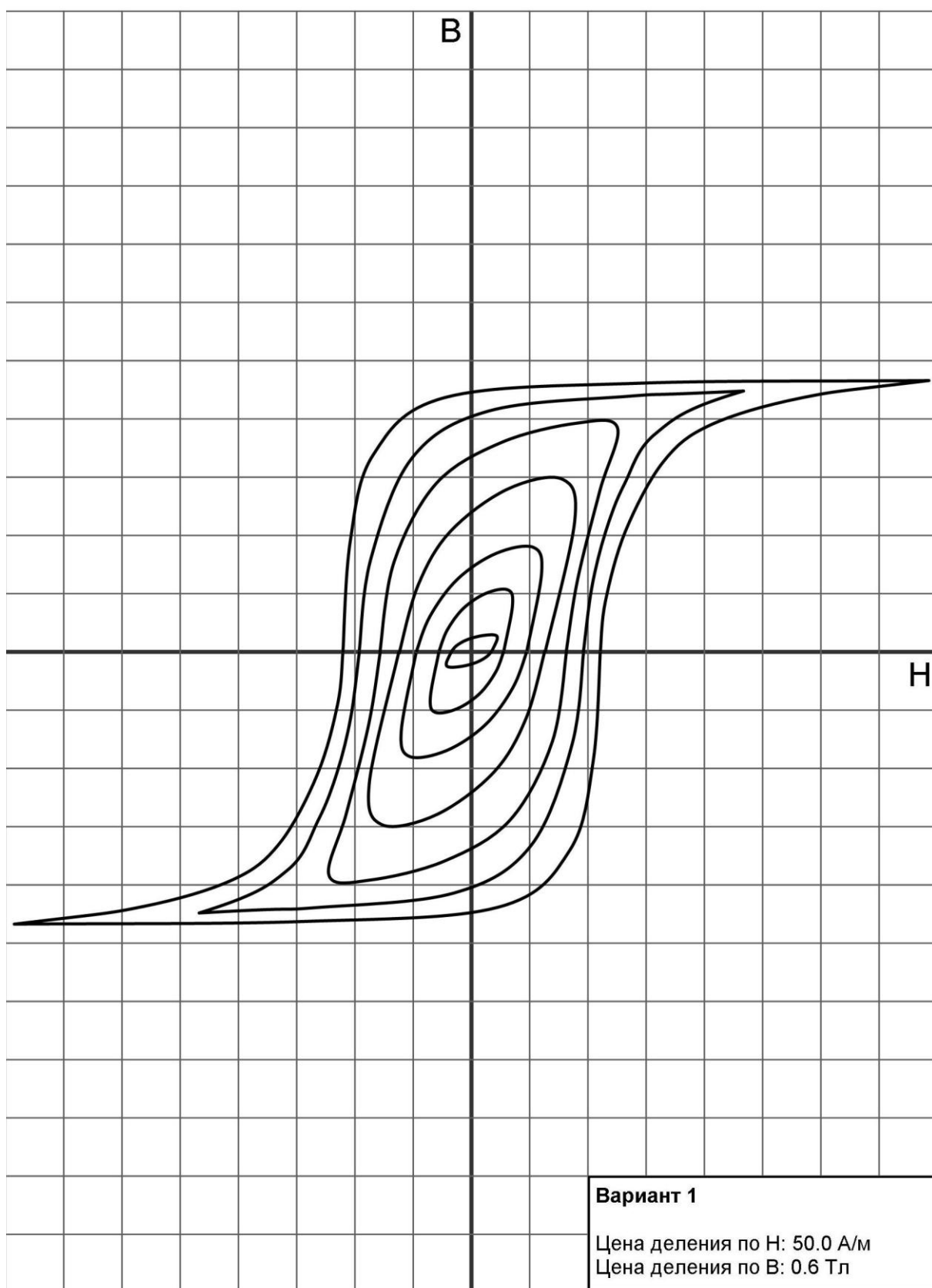
3. Практическая часть

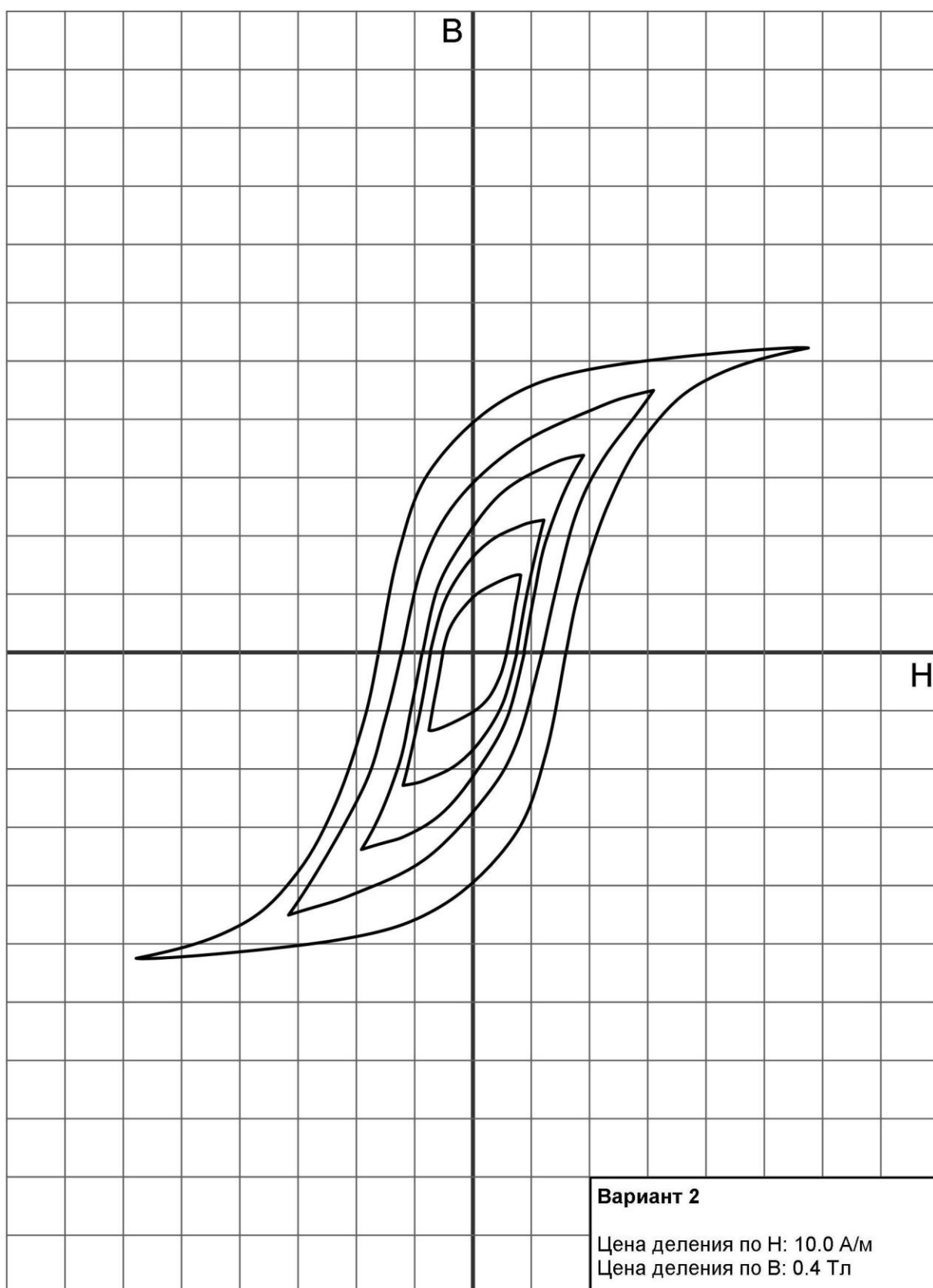
3.1 Порядок выполнения работы.

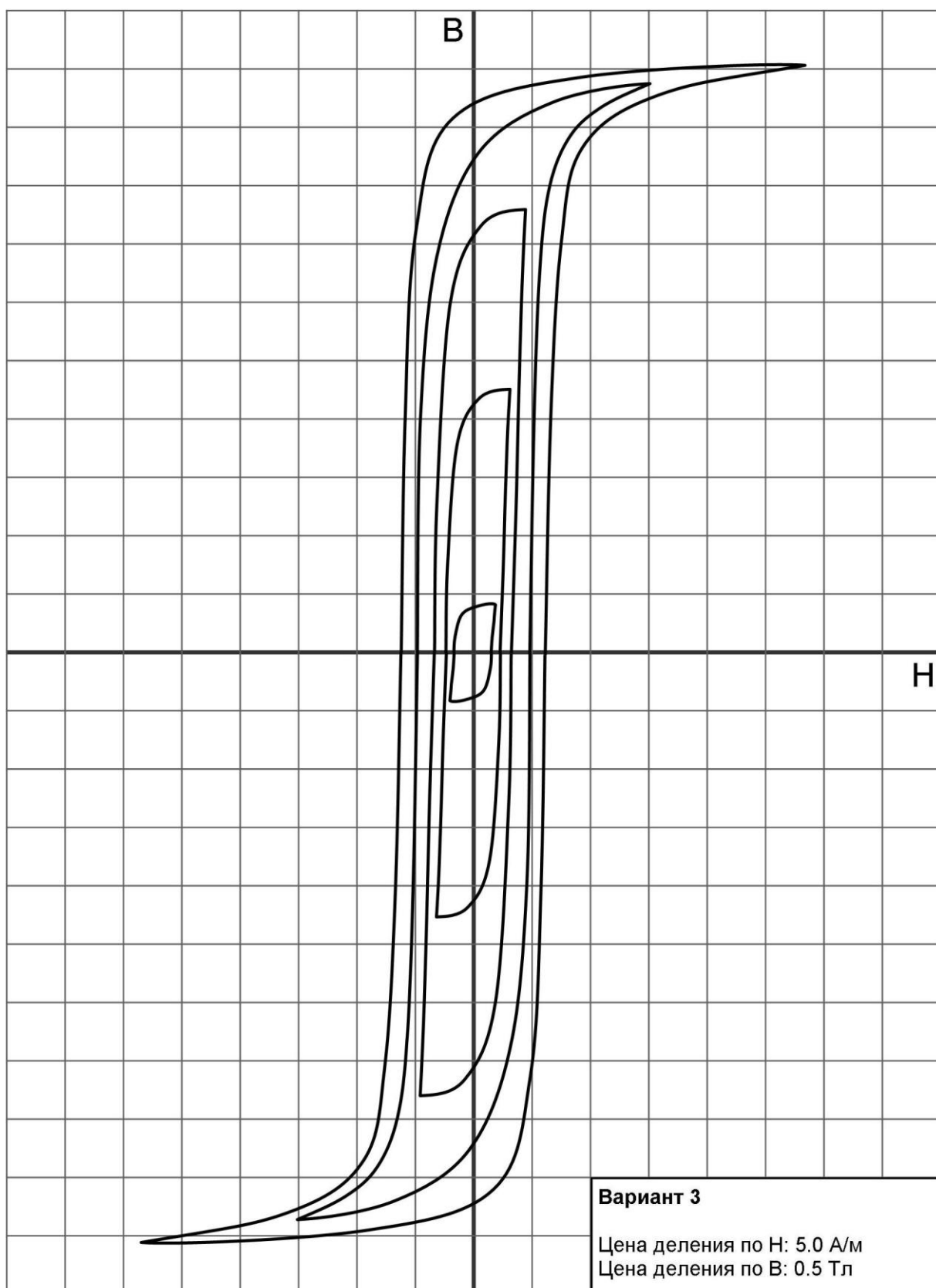
- 3.1.1 Получить у преподавателя вариант задания в соответствии с пунктом 3.2.
- 3.1.2 На полученном графике построить основную кривую намагничивания.
- 3.1.3 Определить с использованием петли магнитного гистерезиса остаточную намагниченность, коэрцитивную силу и индукцию насыщения.
- 3.1.4 Вычислить максимальную удельную магнитную энергию.
- 3.1.5 Построить график зависимости дифференциальной магнитной проницаемости от напряженности внешнего магнитного поля. Определить максимальную дифференциальную магнитную проницаемость.
- 3.1.6 По найденным параметрам определить, к какому типу относится предложенный магнитный материал.

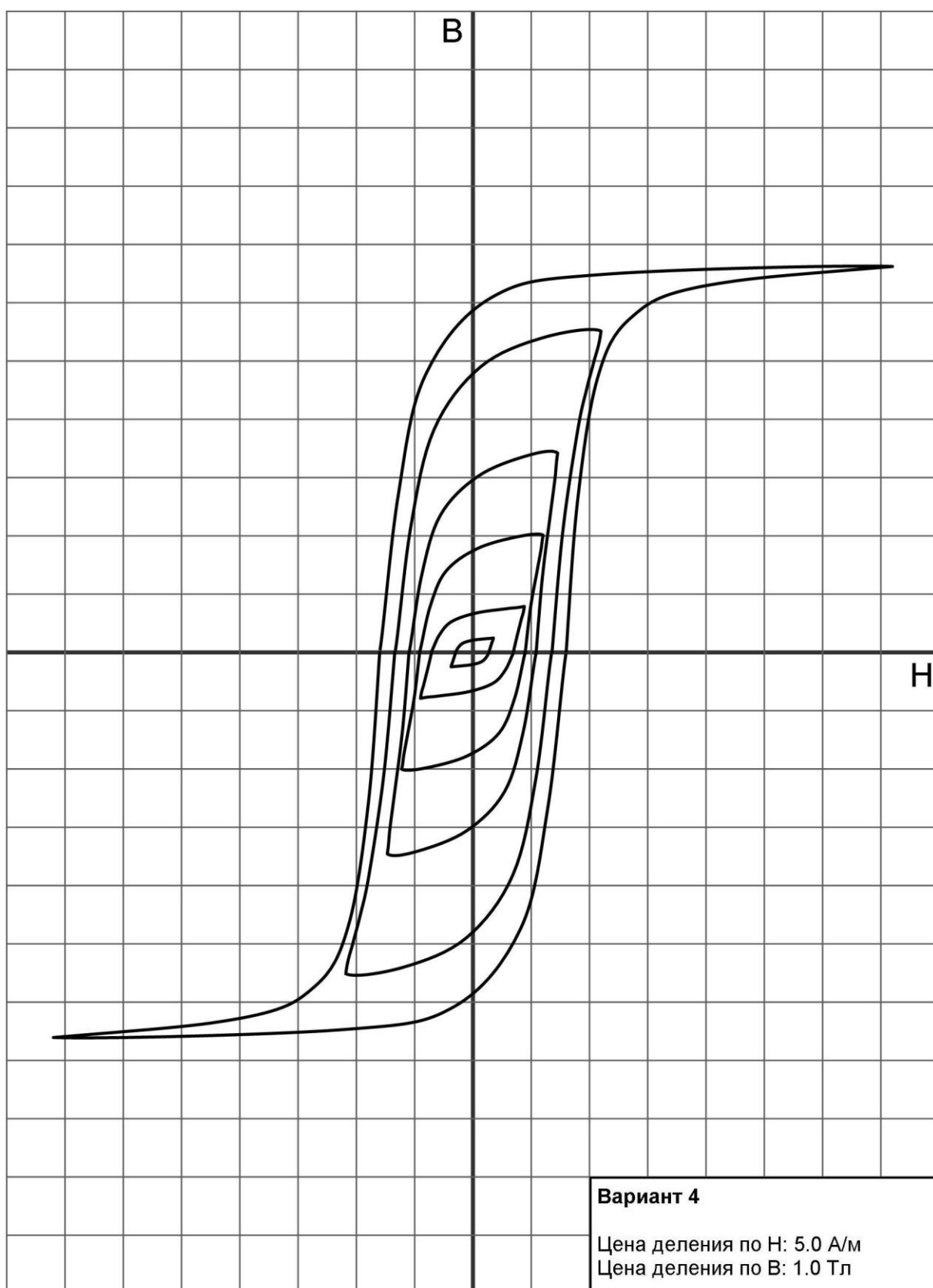
3.2 Варианты заданий.

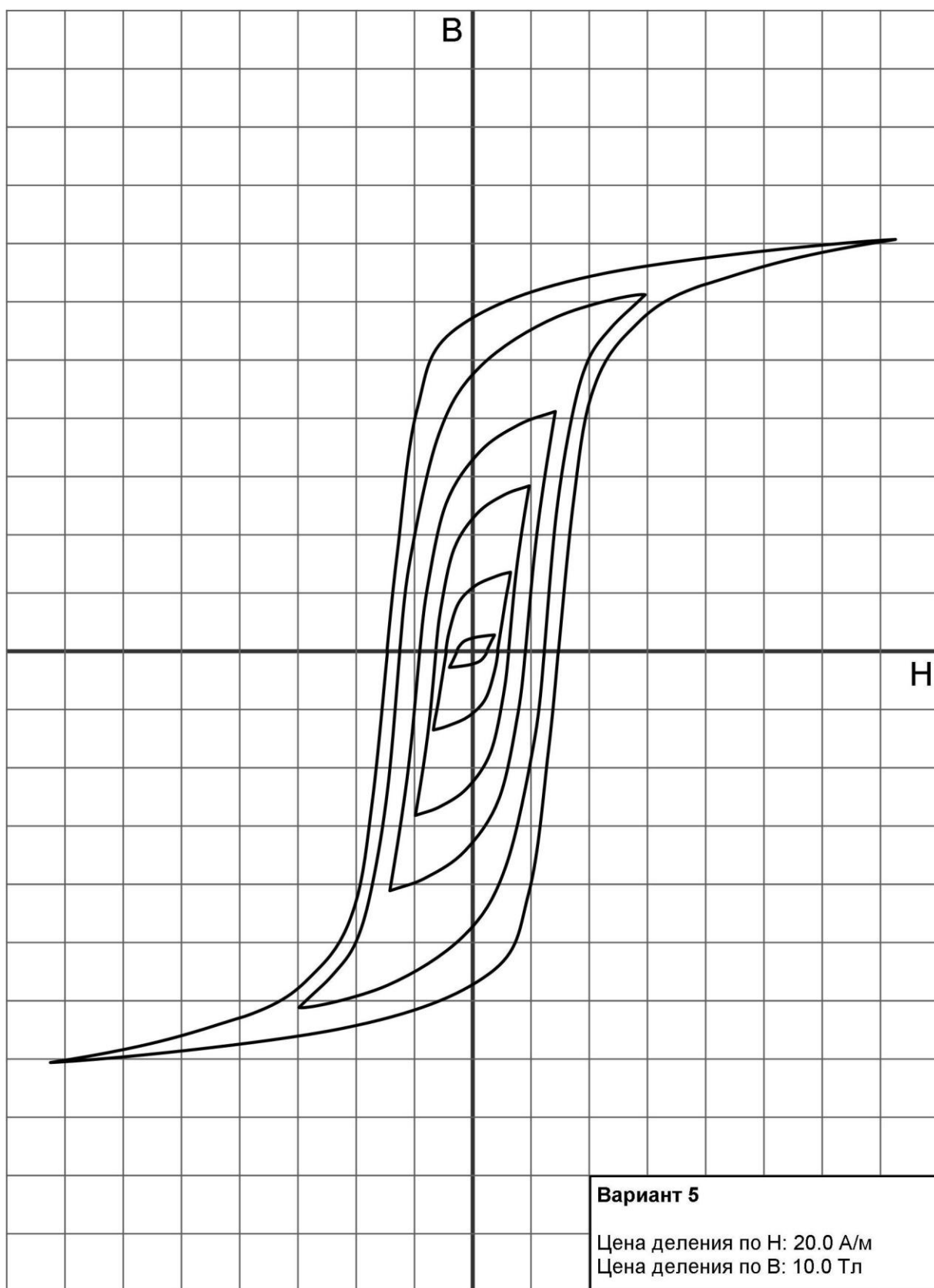
Задания представлены в виде графиков, на которых показаны петли магнитного гистерезиса некоторого материала.

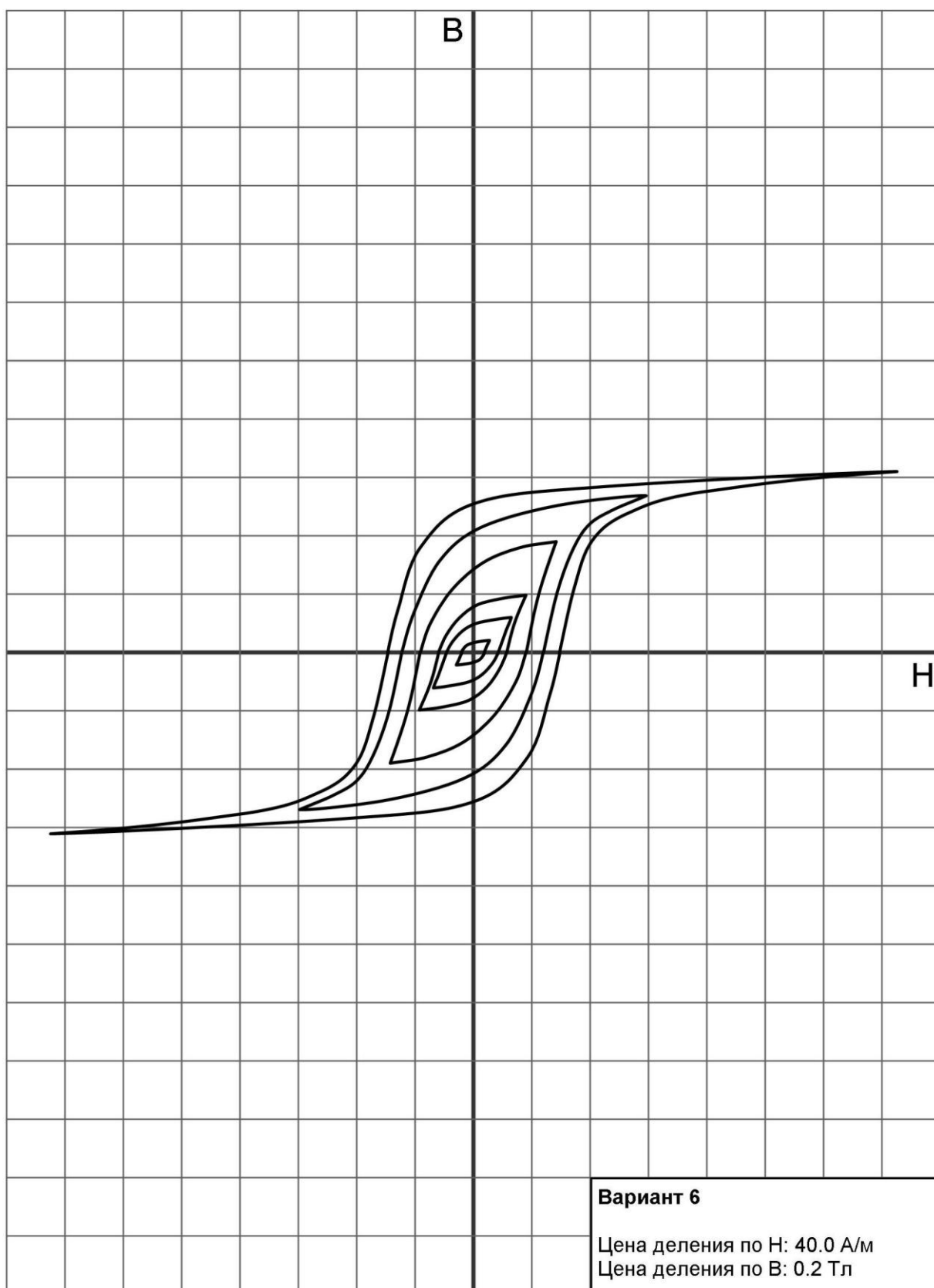


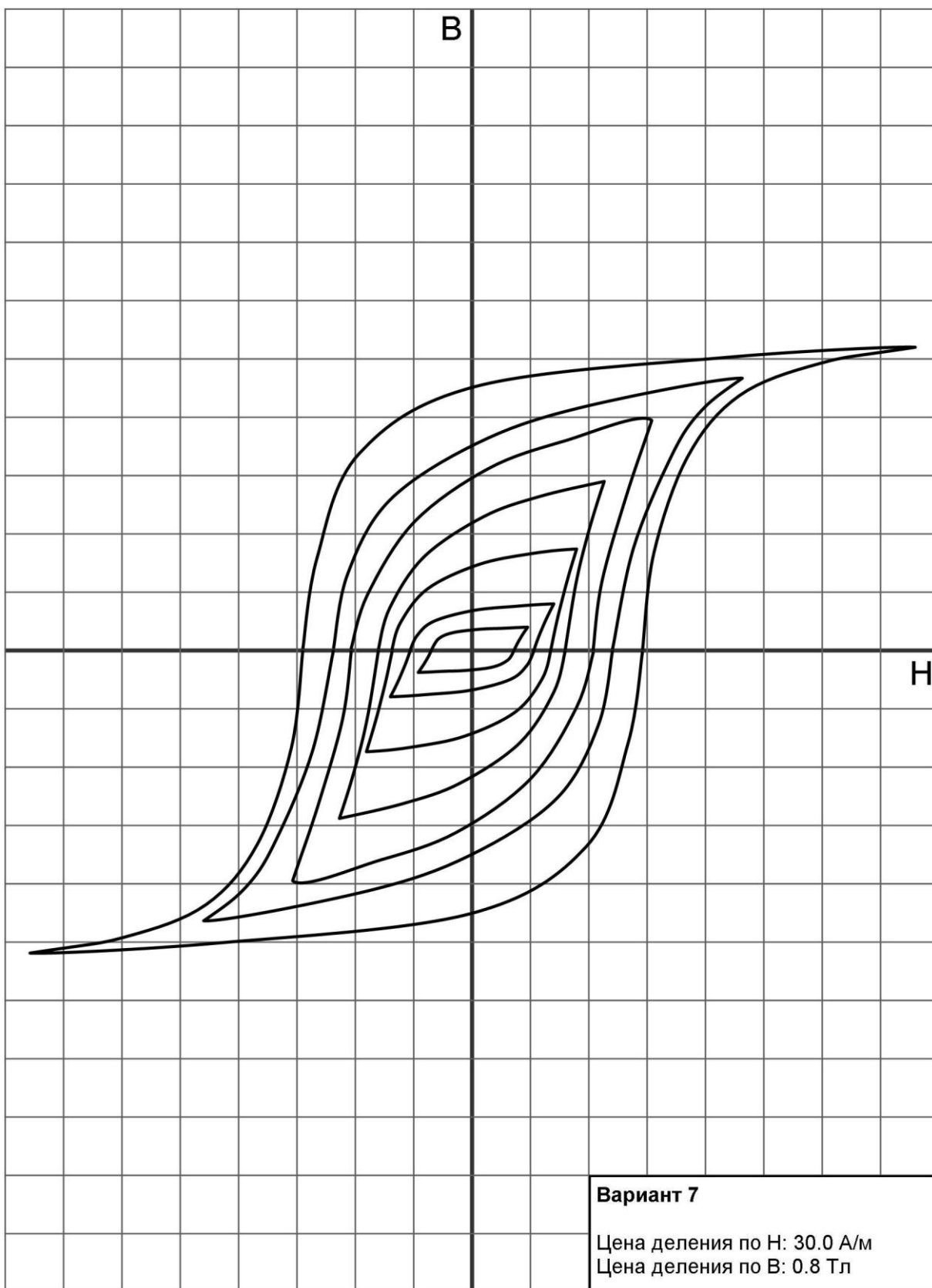






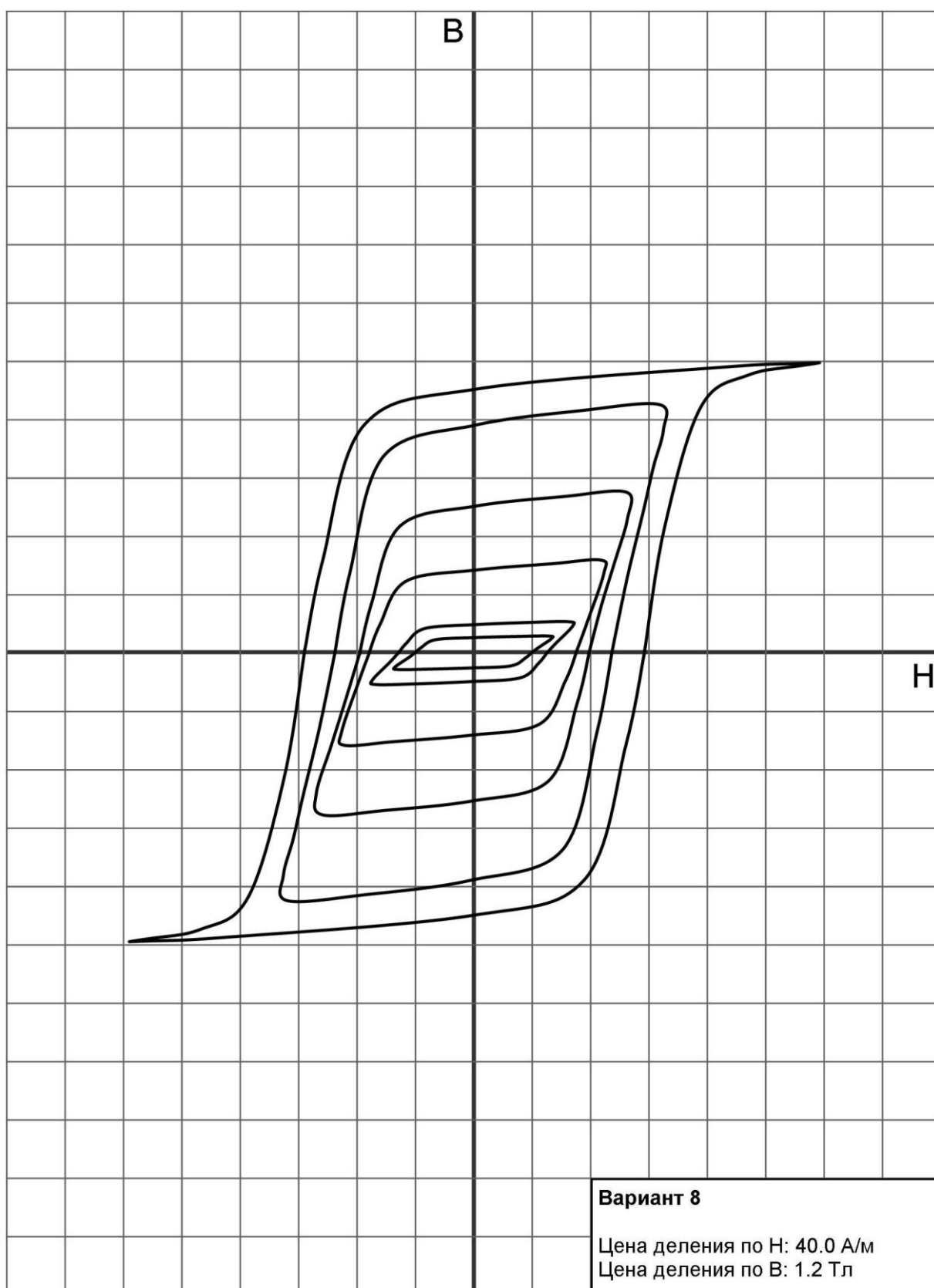


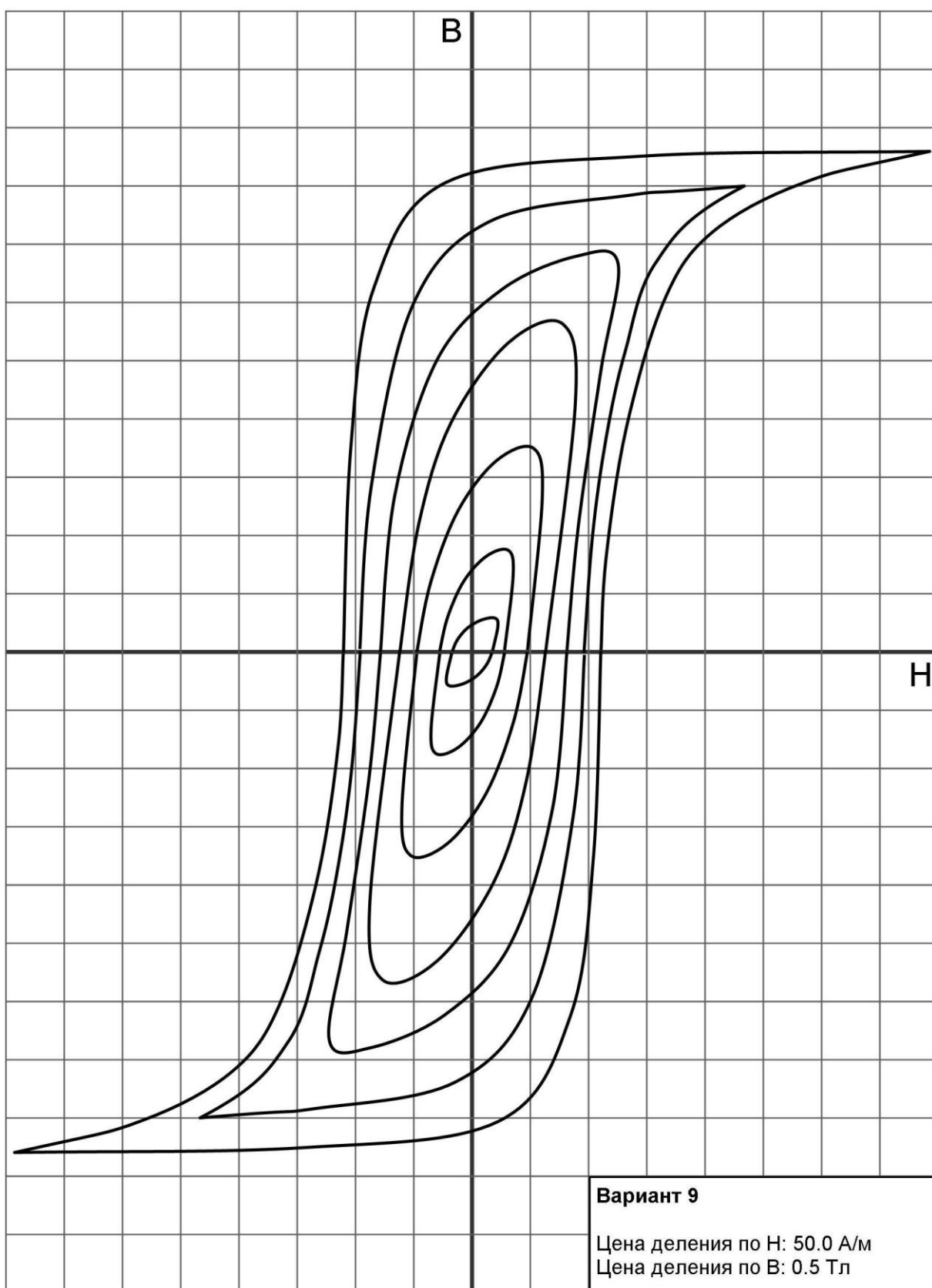


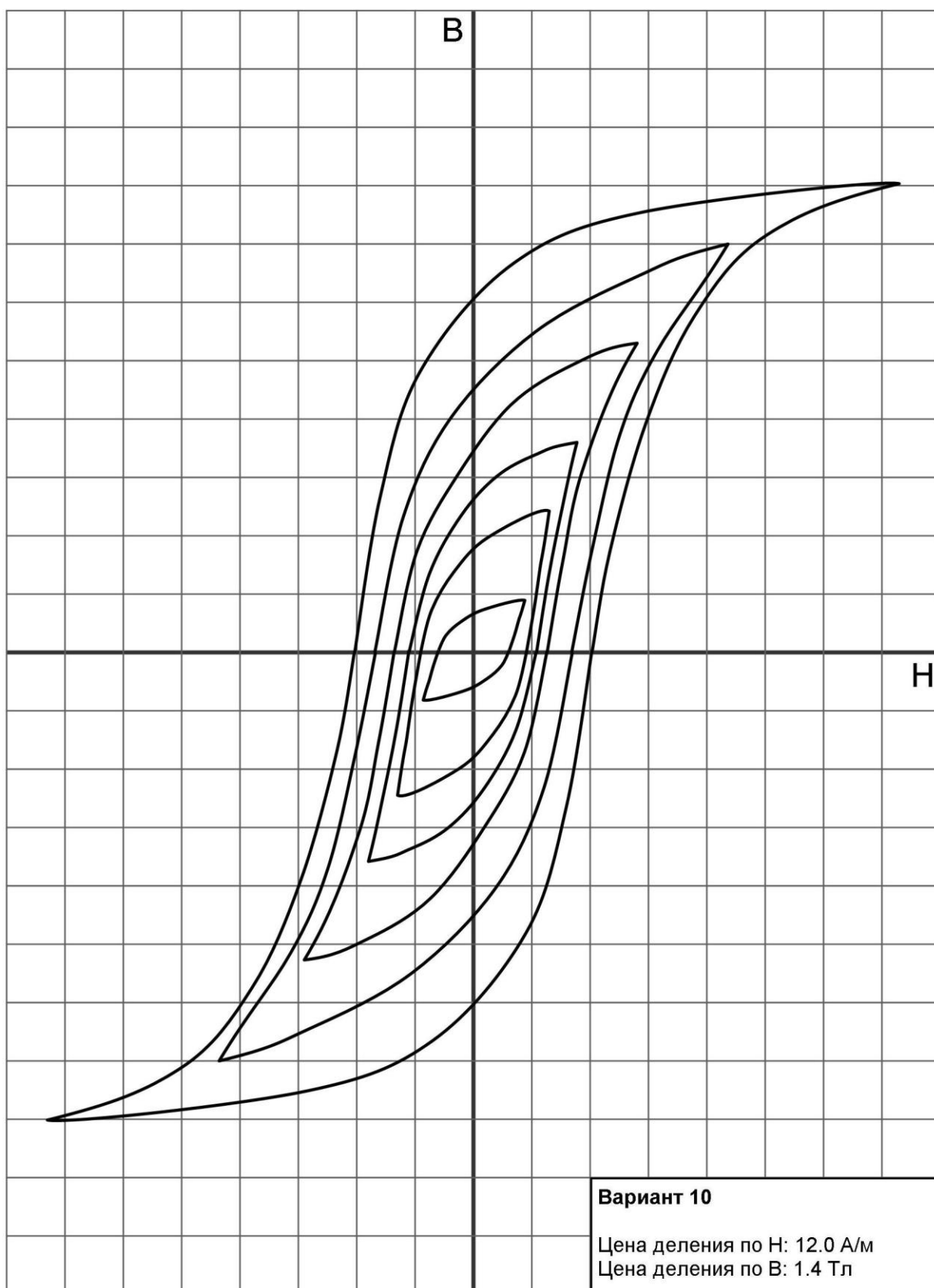


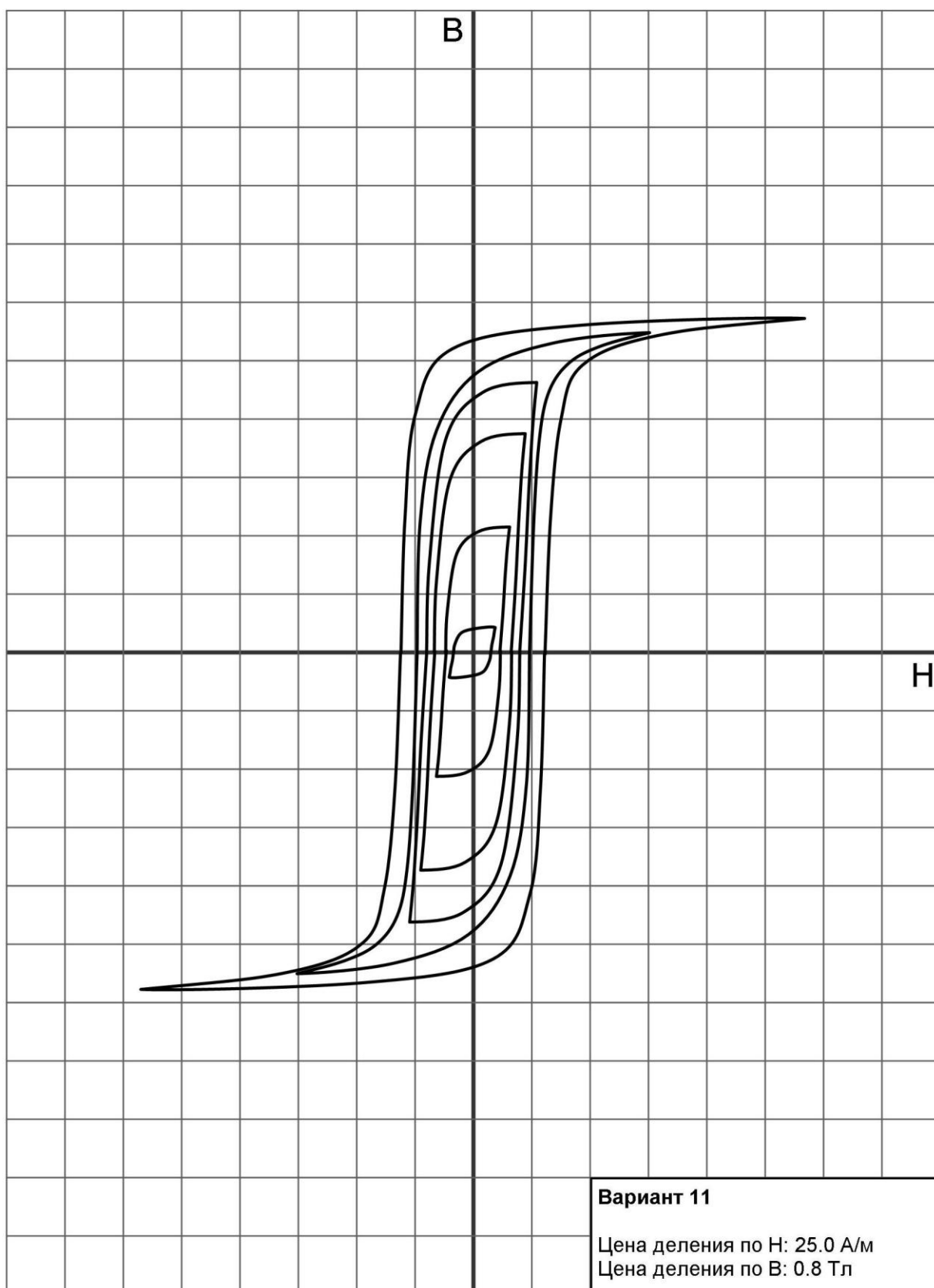
Вариант 7

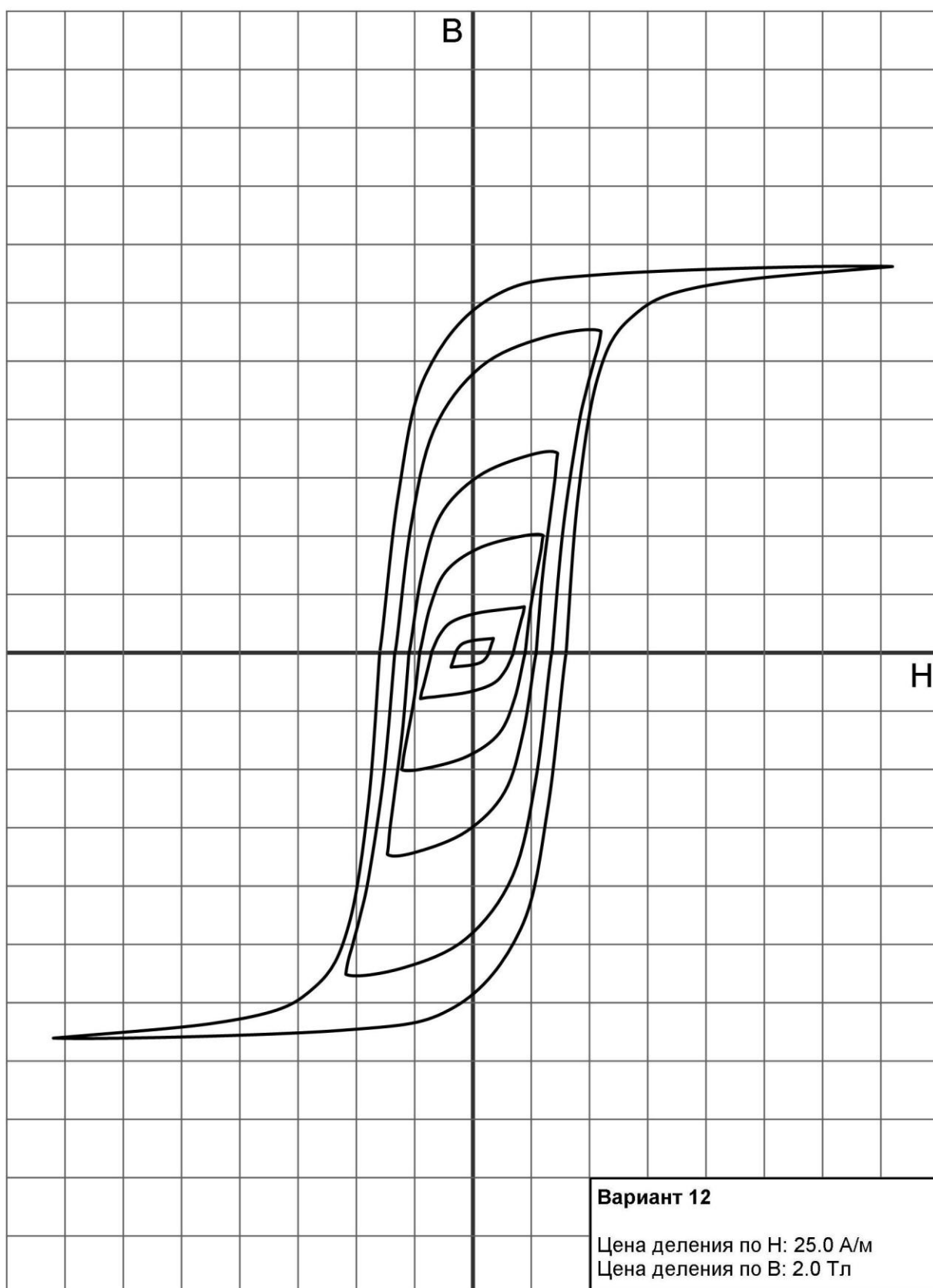
Цена деления по H: 30.0 А/м
Цена деления по B: 0.8 Тл

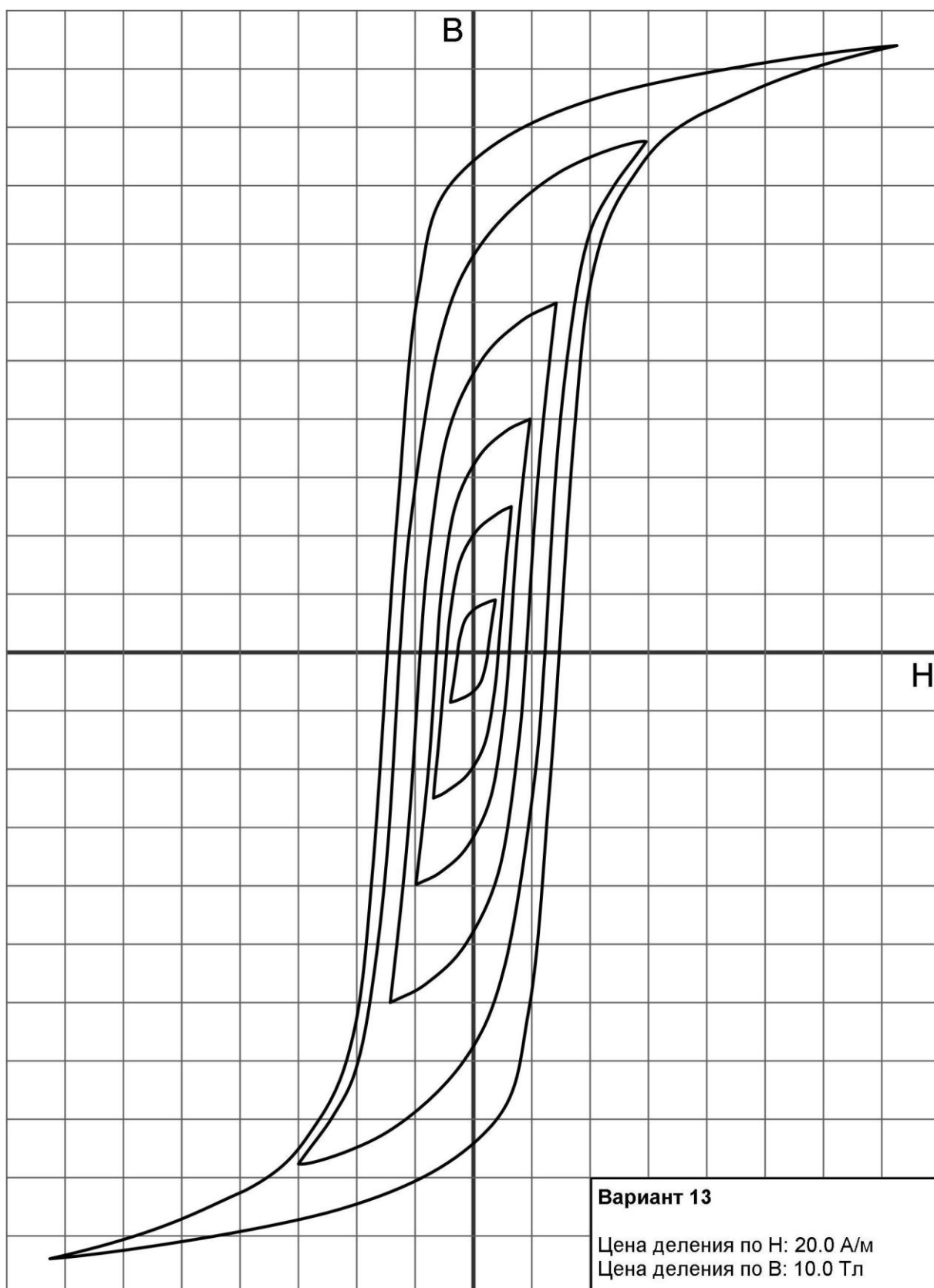


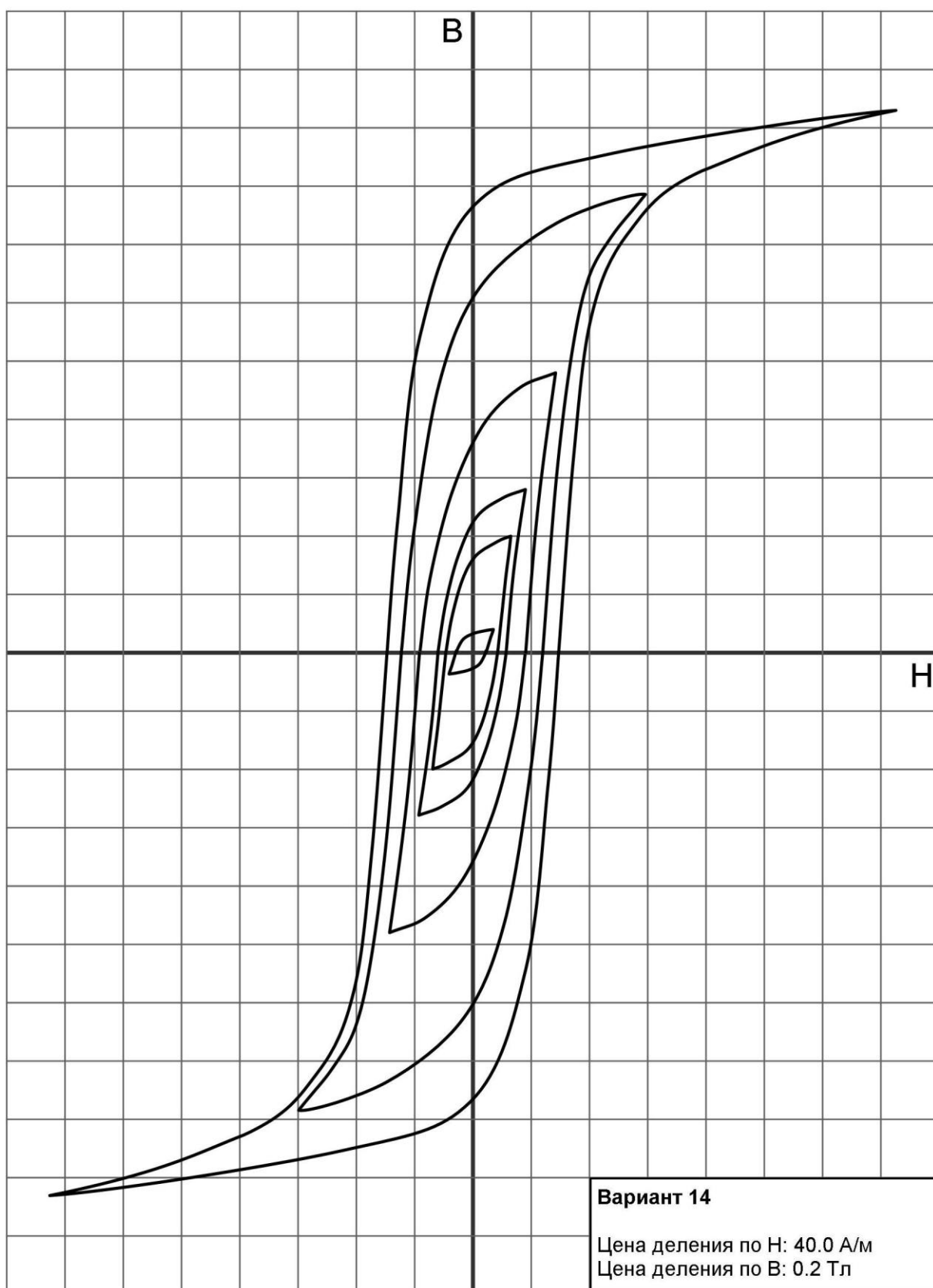


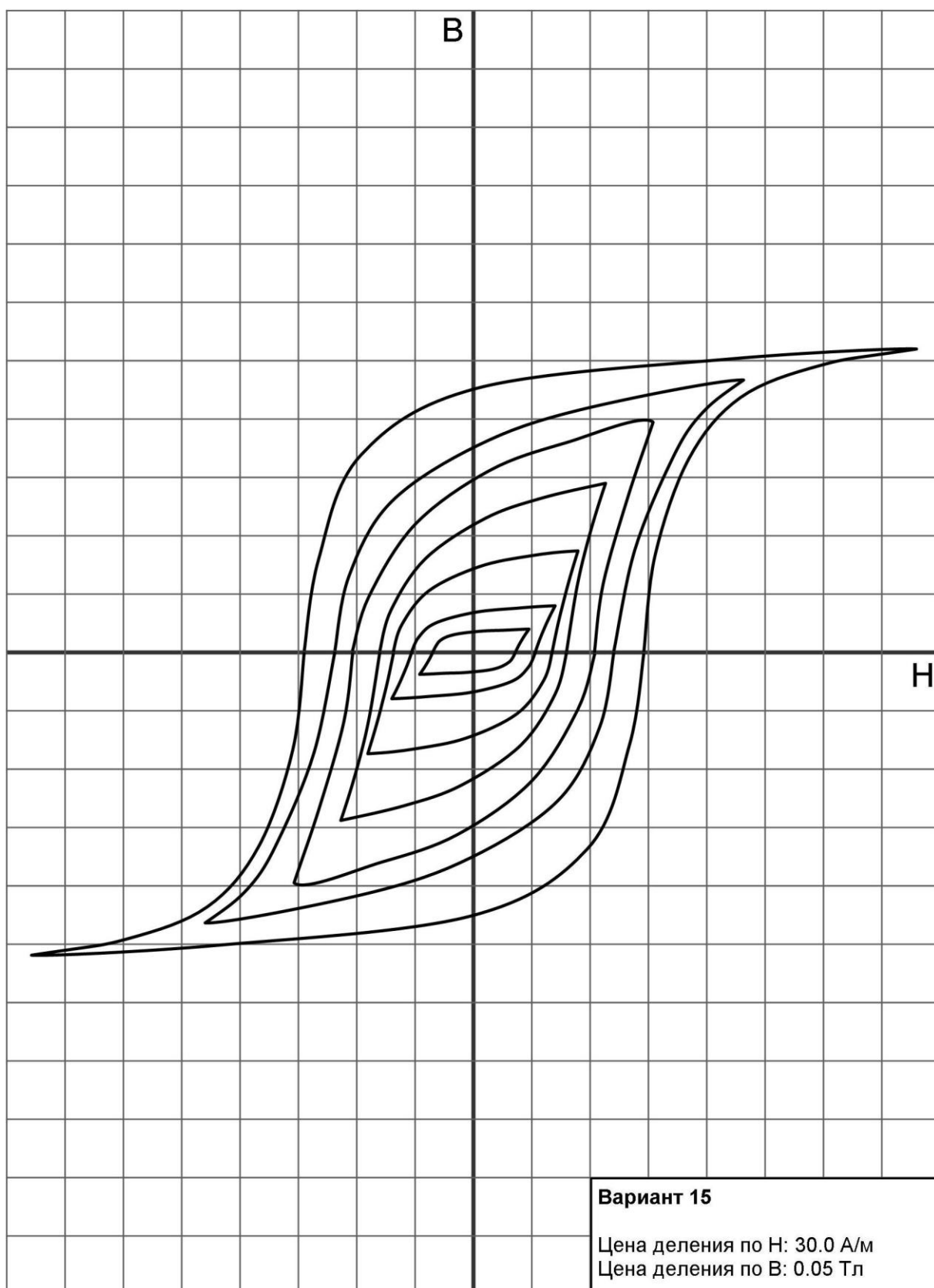






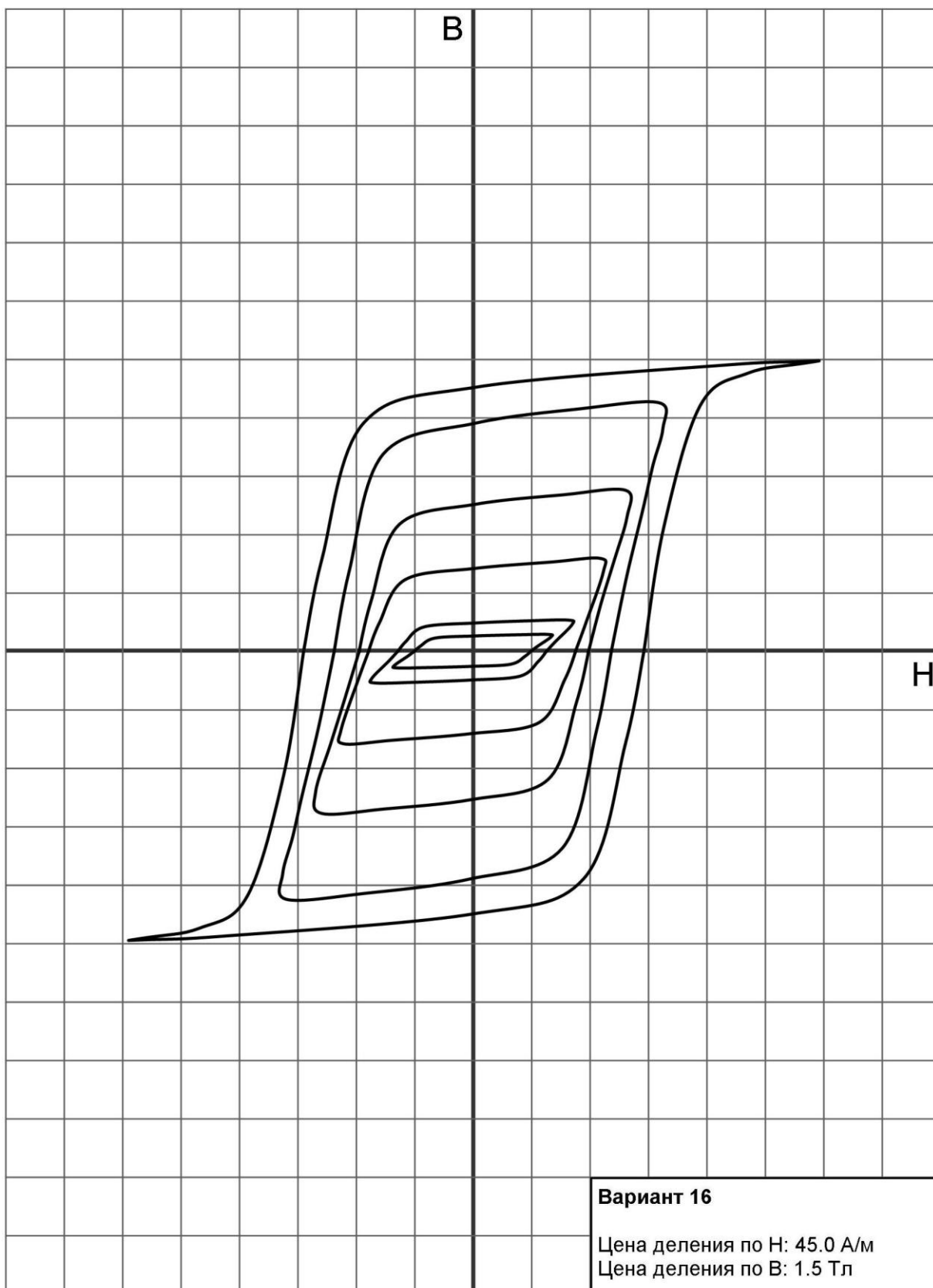






Вариант 15

Цена деления по H : 30.0 А/м
Цена деления по B : 0.05 Тл



Требования к оформлению отчёта

Результаты выполнения студентом лабораторной работы представляются преподавателю в виде письменного отчёта, выполненного на листе формата А4 или близкого к нему формата. В отчёте обязательно указываются фамилия и инициалы студента, выполнившего работу, дата выполнения работы, номер лабораторной работы, её название, цель, а также к работе прилагается распечатанный график петли гистерезиса, на котором отмечаются все необходимые параметры. Отчёт о лабораторной работе обязательно завершается выводом, который делается на основании полученных студентом результатов.

Отчёт сдаётся преподавателю для проверки, и может быть не принят и отправлен на доработку в случае наличия ошибок, неполноты представленных промежуточных вычислений и т.п. После принятия отчёта преподавателем студент обязан пройти процедуру защиты выполненной им лабораторной работы, для того, чтобы она считалась зачтённой. По итогам проверки отчёта и защиты работы преподавателем выставляется оценка по работе, которая будет учитываться при вычислении итоговой оценки по данному спецкурсу.

Пример оформления отчёта

___. ___. 2016

(Ф.И.О.)

Лабораторная работа № ____

(название работы)

Цель: _____

Вариант № ____

Результат

$B_{\text{ост}} = \dots$

$H_{\text{с}} = \dots$

$B_{\text{макс}} = \dots$

$\omega_{\text{макс}} = \dots$

$\mu_{\text{д}}^{\text{макс}} = \dots$

Вывод
