

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 2 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/SWLL9958>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

***А. Н. Жакупов¹, А. Т. Жакупова²**

^{1,2}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

e-mail: alibek_j85@mail.ru

ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В данной работе исследованы магнитные свойства стали 13ХФА с целью возможности проведения неразрушающего определения значений механических свойств. Проведен анализ существующих способов неразрушающего контроля механических свойств и обоснована перспективность применения магнитного способа определения механических свойств вместо стандартного разрушающего – испытание на растяжение, а также приведены преимущества магнитного способа определения перед другими неразрушающими, таких как тепловой и механический, в которых применяется измерение теплопроводности и твердости по Бринеллю соответственно. Определено влияние изменения прочностных свойств на величину магнитных показателей, для чего на стальных образцах была проведена закалка с последующим отпуском при температурах 500, 550, 600, 650 и 700 °С. Обосновано уменьшение коэрцитивной силы и увеличение остаточной магнитной индукции и максимальной магнитной проницаемости при отпуске стали от 500 до 650 °С, а также выявлена причина их изменения в обратную сторону. Даны рекомендации по выбору магнитных характеристик для неразрушающего контроля их структурного состояния. Выявлена немонотонность изменений значений магнитных свойств и обоснованы экстремумы кривых диаграмм, связанных с изменением структуры отпущенной стали.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, коэрцитивная сила, остаточная магнитная индукция, максимальная магнитная проницаемость, 13ХФА.

Введение

В настоящее время, для определения механических свойств стальных изделий применяют одноосное растяжение на разрывной машине. Результатом испытания является диаграмма растяжения, по графику которой определяются временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение. В соответствии со многими стандартами, используемыми на производственных предприятиях, определение данных механических характеристик является обязательным. К примеру, для бесшовных труб согласно ГОСТ 632-80 «Трубы обсадные и муфты к ним», нормируемыми показателями являются временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение. Механическое испытание на растяжение является точным, однако для осуществления контроля требуется вырезка «темплета» и затем изготовление стандартного образца для испытания. В связи

с этим, дальнейшая эксплуатация изделия невозможна или если, данное изделие длинномерное, то происходит расход металла. Кроме того, ввиду того, что данный вид контроля является разрушающим, контроль изделий производится выборкой (одна из какого-либо количества – партии), что не обеспечивает контроль каждой единицы изделия [1–3].

Перспективным является применение неразрушающих методов контроля: тепловой, механический и электромагнитный [4–5].

К механическому относится определение твердости. Связь между прочностью металла и его твердостью достаточно известна. В различных источниках приводятся разные аналитические зависимости: в одних, временное сопротивление рассчитывается по формуле (1):

$$\sigma_B = 112 + 2,4 \cdot HB. \quad (1)$$

в других же, по формуле (2):

$$\sigma_B = 9,81 \cdot K \cdot HB, \quad (1)$$

где $K = 0,34$ при $HB < 175$ и $K = 0,36$ при $HB > 175$.

Недостатками данного способа является отсутствие единой зависимости для определения свойств, большая погрешность измерения (9–13 %) и связь только с прочностью изделия.

К тепловому относится определение теплопроводности. В данном способе используются структурно-чувствительные информативные параметры, на основании которых определяется структурная зависимость сталей от теплопроводности. Недостатком является длительность процесса определения свойств и погрешность измерения более 11 % [6–7].

Электромагнитные методы контроля достаточно давно и широко применяются в промышленности. Однако, их применимость подтверждается только при контроле несплошностей металла, а количественно определяется только твердость (через измерение коэрцитивной силы), которая имеет высокую погрешность, как описано выше [8–10].

В данной работе предлагается на основании проведения исследования структуры и свойств стальных изделий определить закономерности и зависимости между механическими и электромагнитными свойствами. В качестве электромагнитных свойств предлагается применить коэрцитивную силу, остаточную магнитную индукцию и максимальную магнитную проницаемость.

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования были взяты образцы труб из марки стали 13ХФА.

Для проведения исследования было вырезано 15 одинаковых образцов с одной трубы. Далее все образцы были упрочнены в водной среде после нагрева

в муфельной печи SNOL-1300 до 900 °С. После этого, по группам состоящим из трех образцов, проведен их отпуск при температурах 500, 550, 600, 650 и 700 °С. По окончании проведения термической обработки образцов проведено измерение магнитных свойств.

Измерение магнитных характеристик осуществляли коэрцитиметром КИМ-2М, посредством которого были получены значения коэрцитивной силы, остаточной магнитной индукции, а также максимальных значений намагниченности образцов и напряженности магнитного поля. Отношение последних двух из которых позволяет определить величину максимальной магнитной проницаемости.

Результаты и обсуждение

В результате проведения термической обработки образцов трубы из марки стали 13ХФА получены значения, указанные в таблице 1. При этом известно, что отпущенные после закалки стальные образцы имеют показатели прочности тем выше, чем меньше была температура отпуска.

С увеличением температуры отпуска до 650 °С коэрцитивная сила уменьшается, а остаточная индукция и максимальная магнитная проницаемость возрастают до своего максимума. Возрастание остаточной намагниченности и максимальной проницаемости обусловлено распадом парамагнитного остаточного аустенита на отпущенный мартенсит и карбиды. Небольшое дальнейшее уменьшение остаточной индукции и проницаемости выше 650 °С связано с превращениями низкотемпературных ферромагнитных карбидов в цементит (рисунок 1-3).

Таблица 1 – Магнитные свойства стали 13ХФА

Температура отпуска, °С	Коэрцитивная сила, H_c , А/м	Остаточная магнитная индукция, $B_{ост}$, Тл	Максимальная магнитная проницаемость, μ_{max} , Гн/м
500	867; 872; 826	1,10; 1,11; 1,00	275; 260; 263
	*855	*1,07	*266
550	714; 689; 721	1,28; 1,17; 1,21	312; 285; 321
	*708	*1,22	*306
600	612; 630; 633	1,41; 1,45; 1,28	379; 389; 354
	*625	*1,38	*374
650	519; 507; 549	1,47; 1,58; 1,50	420; 403; 419
	*525	*1,52	*414
700	584; 591; 559	1,39; 1,40; 1,53	365; 379; 399
	*578	*1,44	*381

* - среднее значение

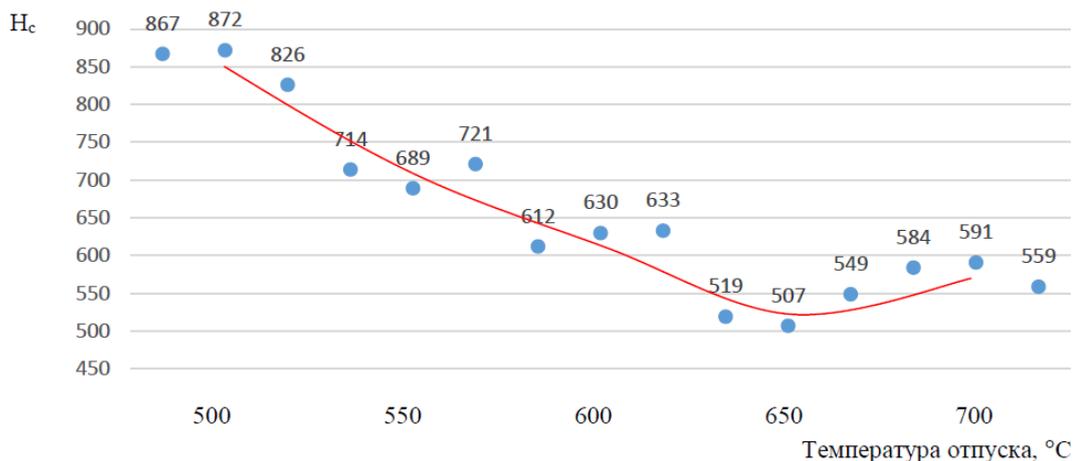


Рисунок 1 – Зависимость коэрцитивной силы от температуры отпуска

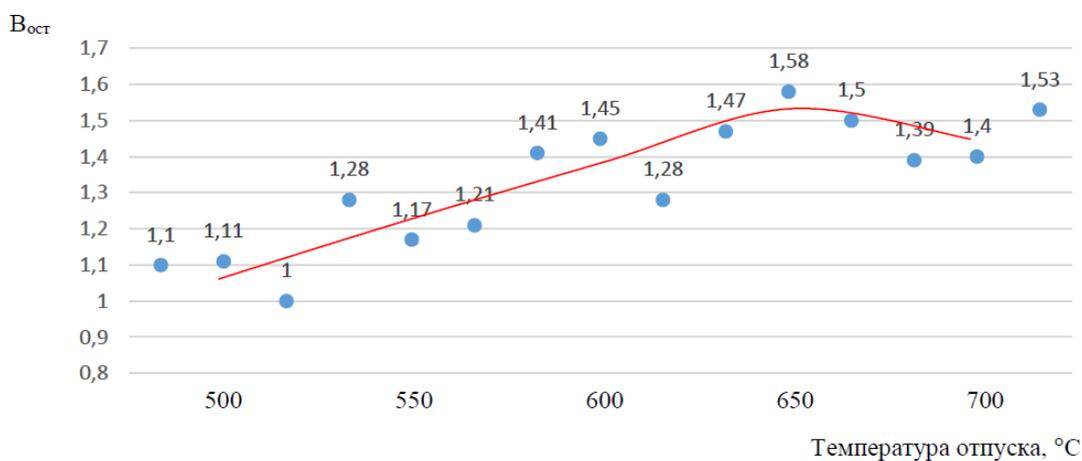


Рисунок 2 – Зависимость остаточной магнитной индукции от температуры отпуска

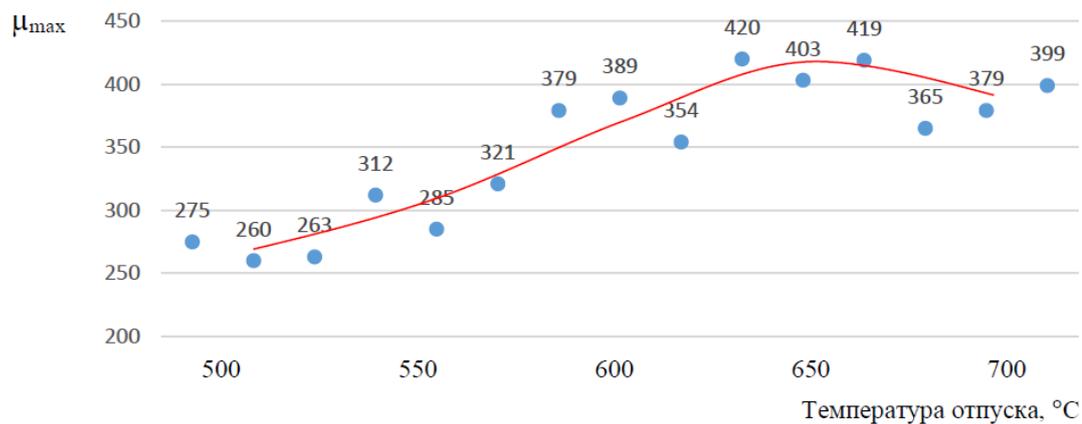


Рисунок 3 – Зависимость максимальной магнитной проницаемости от температуры отпуска

Как видно, при изменении прочностных свойств, связанных с разупрочнением структуры стали после отпуска, происходит изменение значений магнитных показателей, что подтверждает корреляционную связь между механическими и магнитными свойствами стали 13ХФА.

Результаты данной работы позволят в продолжении исследования математически описать корреляционные зависимости между механическими и магнитными свойствами посредством проведения регрессионного анализа, определить значимость и влияние выбранных магнитных параметров измерения, а также в сравнении с фактическими значениями механических свойств, полученных при испытании на растяжение, выявить погрешность данного способа контроля.

Информация о финансировании

Данное исследование профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №АР13268736 – «Неразрушающий способ определения механических свойств стальных изделий»).

Выводы

На основании проведенного исследования выявлена зависимость магнитных свойств от прочностных. За исследуемые параметры взяты коэрцитивная сила, остаточная магнитная индукция и максимальная магнитная проницаемость, как наиболее структурочувствительные. Показано, что при проведении отпуска стальных изделий из марки стали 13ХФА происходит изменение значений магнитных характеристик, связанных с изменением прочностных свойств, что позволяет сделать вывод о их зависимости между собой. Анализ полученных результатов выявил немонотонность изменений значений магнитных свойств. Обоснованы экстремумы кривых диаграмм, связанных с изменением структуры отпущенной стали.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Жакупов, А. Н.** Исследование формирования структуры и свойств легированных сталей для усовершенствования технологии получения обсадных и насосно-компрессорных труб / диссертация на соискание степени PhD. – 2018. – 100 с.

2 **Жакупов, А. Н.** Способ электромагнитного контроля качества термической обработки изделия / Патент РК на изобретение №33106. Бюл. № 35 от 17.09.2018.

3 **Михеев, М. Н.** Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов. – М. : Наука, 1993. – 250 с.

4 **Щербинин, В. Е.** Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / В. Е. Щербинин, Э. С. Горкунов. – Екатеринбург : Изд-во УрО РАН, 1996. – 266 с.

5 **Михеев, М. Н.** Магнитный структурный анализ / М. Н. Михеев // Дефектоскопия. – 1983. – № 1. – С. 3–12.

6 **Perevertov, O.** Detection of spring steel surface decarburization by magnetic hysteresis measurements / O. Perevertov , O. Stupakov , I. Tomáš, B. Skrbek // NDT&E International – 2011. – V. 44. – P. 490–494.

7 **Kikuchi, H.** Feasibility study for nondestructive evaluation of magnetic properties and hardness of two-layered specimens by magnetic single-yoke probe / H. Kikuchi, H. Murakami, K. Ara // NDT&E International – 2012. – V. 46. – P. 1–6.

8 **Buschow, K. H.** Physics of Magnetism and Magnetic Materials / K. H. J. Buschow, F. R. de Boer. – USA: Springer US, 2004. – 182 p.

9 **Langman, R.** Magnetic properties of mild steel under conditions of biaxial stress / R. Langman // IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS – 1990. – V. 26. – № 4. – P. 1246 – 1251.

10 **Fiorillo, F.** Characterization and Measurement of Magnetic Materials. – USA : Academic Press, 2004. – 666 p.

REFERENCES

1 **Zhakupov, A. N.** Issledovanie formirovaniya struktury i svoystv legirovannyh stalej dlya usovershenstvovaniya tekhnologii polucheniya obsadnyh i nasosno-kompressornyh trub / dissertaciya na soiskanie stepeni PhD [Research of the structure formation and properties of alloyed steels to improve the technology for producing casing and tubing / dissertation for the degree of PhD]. 2018. – 100 p.

2 **Zhakupov, A. N.** Sposob elektromagnitnogo kontrolya kachestva termicheskoy obrabotki izdeliya / Patent RK na izobreteniye № 33106. Byul. № 35 ot 17.09.2018. [The method of electromagnetic quality control of the product heat treatment / Patent of the Republic of Kazakhstan for the invention № 33106. Bull. No. 35 dated 09/17/2018.]

3 **Miheev, M. N.** Magnitnye metody strukturnogo analiza i nerazrushayushchego kontrolya [Magnetic methods of structural analysis and non-destructive testing] / M. N. Miheev, E. S. Gorkunov. – Moscow : Nauka, 1993. – 250 p.

4 **Shcherbinin, V. E.** Magnitnye metody strukturnogo analiza i nerazrushayushchego kontrolya [Magnetic methods of structural analysis and non-destructive testing] / V. E. Shcherbinin, E. S. Gorkunov. – Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 1996. – 266 p.

5 **Miheev, M. N.** Magnitnyj strukturnyj analiz [Magnetic structural analysis] / M. N. Miheev // Defektoskopiya. – 1983. – № 1. – P. 3–12.

6 **Perevertov, O.** Detection of spring steel surface decarburization by magnetic hysteresis measurements / O. Perevertov , O. Stupakov , I. Tomáš, B. Skrbek // NDT&E International – 2011. – V. 44. – P. 490–494.

7 **Kikuchi, H.** Feasibility study for nondestructive evaluation of magnetic properties and hardness of two-layered specimens by magnetic single-yoke probe / H. Kikuchi, H. Murakami, K. Ara // NDT&E International – 2012. – V. 46. – P. 1–6.

8 **Buschow, K. H.** Physics of Magnetism and Magnetic Materials / K. H. J. Buschow, F. R. de Boer. – USA: Springer US, 2004. – 182 p.

9 **Langman, R.** Magnetic properties of mild steel under conditions of biaxial stress / R. Langman // IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS – 1990. – V. 26. – № 4. – P. 1246–1251.

10 **Fiorillo, F.** Characterization and Measurement of Magnetic Materials. – USA : Academic Press, 2004. – 666 p.

Материал поступил в редакцию 01.06.23.

**А. Н. Жакупов¹, А. Т. Жакупова²*

^{1,2}Торайғыровуниверситеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 01.06.23 баспаға түсті.

МАГНИТТІК СИПАТТАМАЛАРДЫҢ БОЛАТ БҰЙЫМДАРЫНЫҢ БЕРІКТІК ҚАСИЕТТЕРІНЕ ТӘУЕЛДІЛІГІ

Бұл жұмыста механикалық қасиеттердің мәндерін бұзбай анықтау мүмкіндігі үшін 13ХФА болаттың магниттік қасиеттері зерттелді. Механикалық қасиеттерді бұзбай бақылаудың қолданыстағы әдістеріне талдау жүргізілді және стандарты деструктивті – созылу сынағының орнына механикалық қасиеттерді анықтаудың магниттік әдісін қолдану перспективасы негізделген, сонымен қатар жылу өткізгіштік пен Бринелл қаттылықты өлшеу қолданылатын жылу және механикалық сияқты басқа деструктивтілерге қарағанда магниттік анықтау әдісінің артықшылықтары келтірілген. Беріктік қасиеттерінің өзгеруінің магниттік көрсеткіштердің шамасына әсері анықталды, ол үшін болат үлгілерде 500, 550, 600, 650 және 700 °С температурада кейіннен жұмсартумен шынықтыру жүргізілді. Болатты 500-ден 650-ге °С дейін жұмсарту кезінде коэрцитивтік күштің төмендеуі және қалдық магниттік индукцияның және максималды магниттік өткізгіштіктің артуы негізделді, сондай-ақ олардың кері бағытта өзгеру себебі анықталды. Олардың құрылымдық күйін бұзбай бақылау үшін магниттік сипаттамаларды таңдау бойынша ұсыныстар берілген. Магниттік қасиеттер мәндерінің өзгеруінің монотондылығы анықталды және жұмсартылған болат құрылымының өзгеруіне байланысты қисық сызбалардың экстремумдары негізделген.

Кілтті сөздер: бұзбайтын бақылау, коэрцитивтік күш, қалдық магниттік индукция, максималды магниттік өткізгіштік, 13ХФА.

**A. N. Zhakupov¹, A. T. Zhakupova²*

^{1,2}Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 01.06.23.

DEPENDENCE OF MAGNETIC CHARACTERISTICS ON THE STRENGTH PROPERTIES OF STEEL PRODUCTS

In this work, the magnetic properties of steel 13CrV were studied in order to be able to conduct a non-destructive determination of the values of mechanical properties. The analysis of the existing methods of non-destructive testing of mechanical properties is carried out and the prospects of using a magnetic method for determining mechanical properties instead of the standard destructive one – tensile testing are substantiated, and the advantages of the magnetic method of determination over other non-destructive methods, such as thermal and mechanical, which use the measurement of thermal conductivity and hardness by Brinell, respectively. The effect of a change in strength properties on the value of magnetic indices was determined, for which purpose quenching was carried out on steel samples followed by tempering at temperatures of 500, 550, 600, 650 and 700 °C. The decrease in the coercive force and the increase in the residual magnetic induction and maximum magnetic permeability during tempering of steel from 500 to 650 °C are substantiated, and the reason for their change in the opposite direction is also revealed. Recommendations are given on the choice of magnetic characteristics for nondestructive testing of their structural state. The nonmonotonicity of changes in the values of magnetic properties is revealed and the extrema of the curves of the diagrams associated with the change in the structure of tempered steel are substantiated.

Keywords: non-destructive testing, coercive force, residual magnetic induction, maximum magnetic permeability, 13CrV.

Теруге 01.06.23 ж. жіберілді. Басуға 26.06.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 14,79. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4087

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz