

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-5-156-161

УДК 620.179.14

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, МЕХАНИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛА РАЗРУШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ КАРЬЕРНОГО ТРАНСПОРТА

### RESEARCH OF STRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES, ACOUSTIC AND MAGNETIC CHARACTERISTICS OF THE METAL OF QUARRY TRANSPORT DESTROYED PARTS

Абабков Николай Викторович<sup>1</sup>,

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: n.ababkov@rambler.ru

Ababkov Nikolay V., C. Sc. (Engineering), Associate Professor

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Vesennyaya street, 28, Kemerovo, 650000, Russian Federation

**Аннотация.** В работе исследованы структура, механические, акустические и магнитные характеристики образцы металла таких разрушенных деталей карьерного транспорта как гидроцилиндры экскаватора. Установлен значительный разброс данных по химическому составу металла, твердости и характеристикам неразрушающего контроля. Сопоставлены результаты исследования образцов металла разрушающими и неразрушающими методами контроля, которое показало, что спектрально-акустический метод неразрушающего контроля может быть применен для контроля качества ответственных деталей машин в условиях импортозамещения.

**Abstract.** The structure, mechanical, acoustic and magnetic characteristics of metal samples of such destroyed parts of quarry transport as hydraulic cylinders of an excavator are studied. A significant spread of data on the chemical composition of metal, hardness and characteristics of non-destructive testing is identified. The results of the investigation of metal samples by destructive and non-destructive methods of control are compared showing that the spectral-acoustic method of non-destructive testing can be used to control the quality of the critical machine parts under conditions of import substitution.

**Ключевые слова:** структура металла, механические свойства, спектрально-акустический метод контроля, импортозамещение, химический состав, твердость, контроль качества, ударная вязкость.

**Keywords:** Structure of metal, mechanical properties, spectral-acoustic method of control, import substitution, chemical composition, hardness, quality control, impact strength.

#### Введение

Важной задачей современного машиностроения является обеспечение долговечности деталей машин, которая в существенной мере определяется качеством поверхностного слоя [1]. При этом необходимо решать проблемы повышения надежности приборов, установок, повышение их качества и эффективности работы, а, следовательно, вопросы экономии металлов, борьбы с коррозией и износом деталей машин [1]. Особенно это важно в настоящее время в условиях импортозамещения. Во многих отраслях промышленности эксплуатируется техника иностранного производства, оригинальные запасные части для которой нет возможности приобрести. Поэтому предприятия, экс-

плуатирующие данную технику ищут производителей аналогов деталей и узлов. Довольно часто металл таких деталей-аналогов оказывается некачественным, что приводит к их поломке в гораздо более ранний срок [2].

В связи с тем, что комплекс эксплуатационных характеристик и ресурс изделий закладывается на стадии их производства, то чрезвычайно важным является контроль качества исходных материалов. Именно контроль механических свойств на стадии изготовления должен являться первоочередным в реализации комплексной программы диагностики объектов в процессе их эксплуатации, так как только в этом случае можно зафиксировать тенденцию изменения тех параметров, от которых

зависит остаточный ресурс. В настоящее время известны два основных направления при оценке физико-механических характеристик металлических изделий: разрушающее и неразрушающее [3].

При оценке состояния металла с помощью разрушающего контроля необходимо строго выполнять условия проведения испытаний, которые изложены в нормативной документации. Недостатком данного контроля является то, что это часто длительный процесс, который приводит к разрушению испытуемого образца. Неразрушающий контроль устраняет данные недостатки, поэтому неразрушающий контроль и диагностика являются приоритетными направлениями в задачах обеспечения контроля физико-механических свойств металла изделий [1].

Методы неразрушающего контроля, применяемые в настоящее время, используются в основном для обнаружения существующих дефектов и не позволяют, в необходимой мере, определять степень изменения структуры. В этом отношении перспективны акустические и магнитные методы. Однако многие детали машин изготавливаются не из ферромагнитных материалов, что не дает возможности контролировать их магнитными методами. Поэтому акустические методы, в том числе спектрально-акустический метод, в этом отношении, являются универсальными. Измеряемые характеристики, такие как время и скорость задержки поверхностных акустических волн и, чувствительны к изменениям структуры металла и зарождению микроповреждений, а также имеют связь с механическими свойствами материалов [3]. К настоящему времени сделаны попытки применения данного метода для оценки работоспособности и остаточного ресурса сосудов, работающих под давлением [4–7], роторов паровых турбин высокого давления [8–10], сварных соединений паропроводов [11–13], а также для контроля металла поверхностных слоев, полученных различными методами упрочнения и механической обработки [14–16].

#### Материал и методики исследования

В настоящей работе исследованы образцы металла аналогов такой детали как шток поршня гидроцилиндра карьерного экскаватора (рис. 1) разрушающими и неразрушающими (спектрально-акустический метод) методами контроля.



Рис. 1. Внешний вид гидроцилиндра экскаватора

Химический состав металла исследуемых деталей определяли при помощи оптико-эмиссионного спектрометра Q4 Tasman. Твердость металла измеряли при помощи универсального твердомера DuraVision-30.

Анализ микроструктуры производили на оптическом микроскопе Axio Observer. Для изучения структуры было вырезано по одному образцу из каждого фрагмента цилиндра, которые были запрессованы в смолу. Запрессованные в смолу образцы подвергались шлифовке, полировке и травлению в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Испытания на ударную вязкость проводили при комнатной температуре на маятниковом копре Izod Pendel, тип образцов с U-образным концентратором.

Время и скорость задержки поверхностных акустических волн определяли измерительно-вычислительным комплексом «АСТРОН» (рис. 2), который предназначен для оценки физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния материала ответственных элементов различных технических объектов [4].

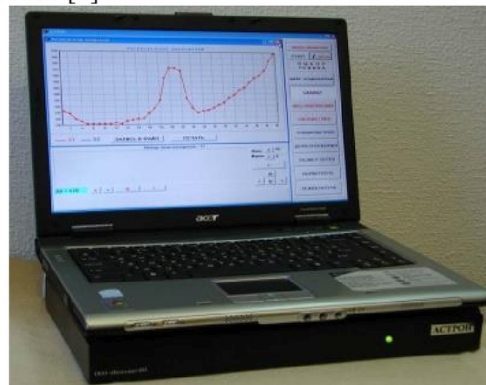


Рис. 2. Внешний вид системы измерительно-вычислительного комплекса «АСТРОН»

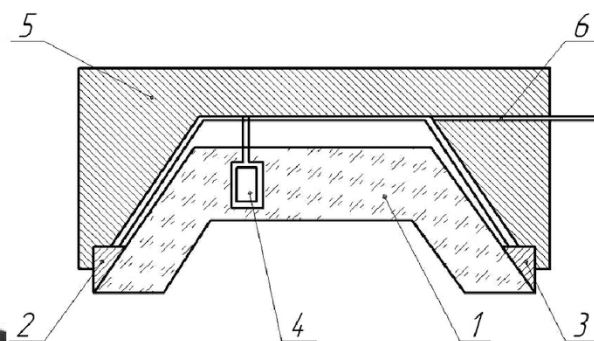


Рис. 3. Малобазный релеевский датчик:

- 1 – двусторонний клин из оргстекла; 2 – излучатель релеевских волн;
- 3 – приемник релеевских волн; 4 – излучатель-приемник термоимпульсов;
- 5 – корпус; 6 – высокочастотный кабель





Рис. 4. Структура металла образца фрагмента цилиндра, разрушенного по проушине,  $\times 200$

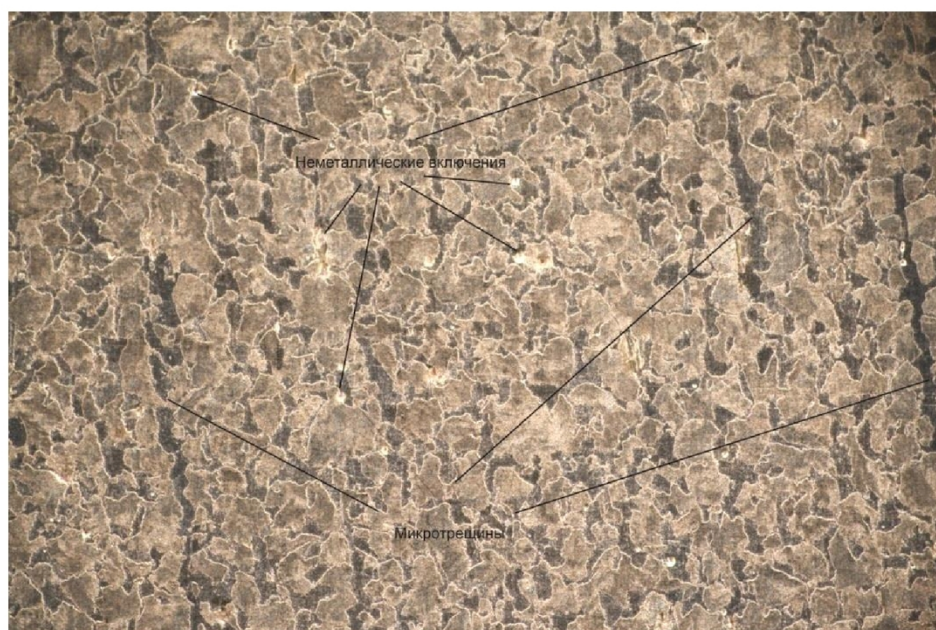


Рис. 5. Структура металла образца фрагмента цилиндра, разрушенного по штоку,  $\times 200$

В основу работы аппаратной части комплекса положен способ учета всей серии отраженных акустических импульсов для последующей ее обработки средствами программного обеспечения комплекса. В обрабатываемую часть системы производится последовательное преобразование осциллограммы отраженных импульсов с определенным шагом дискретизации с момента зондирования исследуемого материала и до

прихода  $n$ -го отраженного импульса для передачи первичной акустической информации. С комплексом «АСТРОН» используются преобразователи поверхностных волн, которые представляют собой выполненные в одном корпусе излучатель и приемник волн. В настоящей работе использовался преобразователь на 4 МГц с базой 18 мм (рис. 3).

Датчик состоит из двустороннего клина из орг-

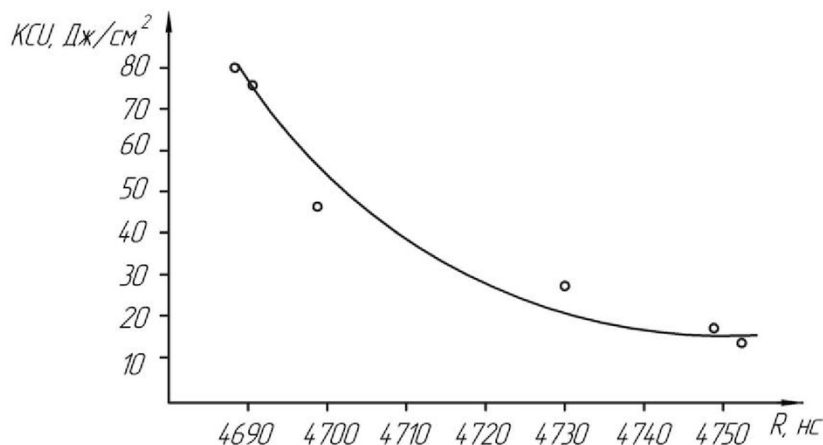


Рис. 6. График зависимости ударной вязкости  $KCU$  (Дж/см<sup>2</sup>) от времени задержки поверхностной акустической волны  $R$  (нс)

стекла 1 с углом ввода ультразвука 27° (для объектов контроля из стали), излучателя 2 и приемника 3 релеевских волн с центральной частотой 5 МГц. База (расстояние между поверхностями излучения и приема) может варьироваться в широких пределах в зависимости от геометрических размеров зон измерения.

#### Обсуждение результатов.

Для таких деталей как поршни гидроцилиндров установлены различия по химическому составу металла между оригиналом и аналогами. По паспорту оригинал изготавливается из стали SM45C (сталь 45). Из аналогов наиболее близким оказался вариант, изготовленный из материала, наиболее соответствующего стали 50. Таким образом отклонение по содержанию С между оригиналом аналогами составило более 5%.

При анализе микроструктуры было выявлено, что структура металла образцов фрагментов гидроцилиндров состоит из феррито-перлитной смеси, структура мелкозернистая, зерна имеют вытянутый характер. Во всех исследованных образцах обнаружены дефекты в виде неметаллических включений и микротрещины в металле образца фрагмента цилиндра, разрушенного по штоку. Размер неметаллических включений неодинаковый.

Результаты испытаний на ударную вязкость показали следующее: металлу оригиналов соответствуют значения  $KCU$  70–80 Дж/см<sup>2</sup>, тогда для металла образца фрагмента цилиндра, разрушенного по штоку получено значение  $KCU$  18 Дж/см<sup>2</sup>, а для металла образца фрагмента цилиндра, разрушенного по проушине – 16 Дж/см<sup>2</sup>. По твердости существенных различий выявлено не было, а время задержки поверхностных акустических волн менялось в пределах от 4691 нс в металле оригинала до 4752 нс в металле аналогов.

По результатам сопоставления исследования образцов металла разрушающими и неразрушающими методами контроля построен зависимости ударной вязкости от времени задержки поверхностных акустических волн (рис. 6).

Из представленного графика видно (рис. 6), что со снижением значений ударной вязкости происходит рост значений времени задержки поверхностной акустической волны. Данная зависимость может быть использована для оценки состояния оборудования по характеристикам неразрушающего контроля.

#### Вывод

В работе исследованы образцы металла оригиналов и аналогов такой деталей как поршень гидроцилиндра разрушающими и неразрушающими методами контроля. Установлено, что для данной детали наблюдается значительный разброс данных по химическому составу металла, ударной вязкости и характеристикам неразрушающего контроля. Это дает основание рекомендовать производителям и поставщикам деталей более ответственно подходить к входному контролю качества. Проведено сопоставление результатов исследования образцов металла разрушающими и неразрушающими методами контроля, которое показало, что спектрально-акустический метод неразрушающего контроля может быть применен для контроля качества ответственных деталей машин в условиях импортозамещения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ, соглашение № 14-19-00724 и гранта Президента РФ для поддержки молодых кандидатов наук, МК-1341.2017.8. Автор выражает благодарность Смирнову А. Н. за помощь при обсуждении результатов исследований, а также Петровой Е.Е. и Пимонову М.В. за участие в экспериментах.*



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горкунов, Б. М. Анализ методов и устройств для контроля упрочненного слоя металлических изделий / Б. М. Горкунов, А. А. Тищенко // Сборник научных трудов «Вестник НТУ "ХПИ": Электроэнергетика та перетворювальна техніка, №12 – Вестник НТУ «ХПИ», 2010. – С. 128–135.
2. Муравьев, В. В. Контроль остаточных напряжений в бандажах локомотивных колес методом акустоупругости / В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, Е. Н. Балобанов // Дефектоскопия, 2013. – №7. – С. 22–28.
3. Фольмер, С.В. Разработка технологии оценки ресурса сварных соединений трубопроводов с применением спектрально-акустического метода / автореф. на соиск. степ. канд. техн. наук. – Барнаул, 2009. – 19 с.
4. Смирнов, А. Н. Использование УЗ-сигналов для идентификации НДС / А. Н. Смирнов, В. Ю. Блюменштейн, А. А. Кречетов, Н. А. Хапонен // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – С. 32–36.
5. Смирнов, А. Н., Абабков, Н. В., Фольмер, С. В. Способ неразрушающего контроля длительно работающего металла эксплуатируемых элементов теплоэнергетического оборудования. Патент РФ, №2532141. 2014.
6. Смирнов, А. Н. Структурно-фазовое состояние, поля внутренних напряжений и акустические характеристики в длительно работающем металле поврежденного барабана котла высокого давления / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Э. В. Козлов и др. // Контроль. Диагностика. – 2012. – №7. – С. 13–17.
7. 8. Смирнов, А. Н. Структурная поврежденность сталей и ее оценка спектрально-акустическим и электронно-микроскопическими методами // Контроль. Диагностика. – 2004. – № 4. – С. 13–18.
8. Смирнов, А. Н. Микроструктура, поля внутренних напряжений и акустические характеристики металла разрушенного ротора паровой турбины / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Э. В. Козлов и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2014. – Т. 57. № 10. – С. 67–71.
9. Быкова, Н. В. Неразрушающий контроль качества металла паровых турбин. Современное состояние и перспективы / Н.В. Быкова, Н.В. Абабков, А.Н. Смирнов, И.С. Быков // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2015. – № 4. – С. 45–52.
10. Смирнов, А. Н. Структурно-фазовое состояние разрушенного ротора паровой турбины высокого давления / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Э. В. Козлов и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. – № 12 (726). – С. 50–57.
11. Смирнов, А. Н. Критерии оценки технического состояния длительно работающего металла оборудования ТЭС на основе акустической структуроскопии / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, В. В. Муравьев и др. // Дефектоскопия. – 2015. – № 2. – С. 44–51.
12. Смирнов, А. Н. Повреждаемость сварных соединений. Спектрально-акустический метод контроля / А. Н. Смирнов, Н. А. Конева, Н. А. Попова и др. // М.: Машиностроение, 2009. – 278 с.
13. Смирнов А. Н. Локальные поля напряжений в сварных соединениях, спектрально-акустический метод их выявления и синергетический подход к материаловедению / А. Н. Смирнов, С. В. Фольмер, Н. В. Абабков // Вестник КузГТУ. – 2009. – №3. – С. 28–38.
14. Махалов, М. С. Определение остаточных напряжений упрочненного поверхностного слоя методами неразрушающего контроля // сборник трудов II-ой Международной научно-практической конференции «Инженерия поверхностного слоя деталей машин». – Минск: БНТУ, 2010. – С. 241–242.
15. Смирнов, А. Н. Градиентные структуры при обработке металлов резанием / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Э. В. Козлов и др. – Кемерово: ООО «Сибирская издательская группа», 2013. – 179 с.
16. Никитенко, М. С. Разработка комплекса средств технической диагностики, восстановления и упрочнения элементов горнодобывающего оборудования / М. С. Никитенко, К. В. Князьков, Н. В. Абабков др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S6. – С. 447–456.

## REFERENCES

1. Gorkunov B. M. Analiz metodov i ustroystv dlya kontrolya uprochnennogo sloya metallicheskih izdeliy / B. M. Gorkunov, A. A. Tishchenko // Sbornik nauchnykh trudov «Vestnik NTU" KHPI»: Yelektroyenergetika ta peretvoryuval'na tekhnika, №12 - Vestnik NTU« KHPI », 2010. - pp. 128-135.
2. Murav'yev V. V. Kontrol' ostatochnykh napryazheniy v bandakh logomotivnykh koles metodom akoustouprugosti / V. V. Murav'yev, L. V. Volkova, Ye. N. Balobanov // Defektoskopiya, 2013. - №7. - pp. 22-28.
3. Fol'mer, S.V. Razrabotka tekhnologiy otsenki resursa svarnykh soyedineniy truboprovodov s primeneniym spektral'no-akusticheskogo metoda / avtoref. Na soisk. step. kand. tekhn. nauk. - Barnaul, 2009. – p.19.

4. Smirnov A. N. Ispol'zovaniye UZ-signalov dlya identifikatsii NDS / A. N. Smirnov V. YU. Blyumenshteyn, A. A. Krechetov, N. A. Khaponen // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. - 2002. - pp. 32-36.
5. Smirnov A. N., Ababkov, N. V., Fol'mer, S. V. Sposob nerazrushayushchego kontrolya dlitel'no rabotayushchego metalla ekspluatiruyemykh elementov teploenergeticheskogo oborudovaniya. Patent RF, №2532141. 2014.
6. Smirnov A. N. Strukturno-fazovoye sostoyaniye, polya vnutrennikh napryazheniy i akusticheskikh kharakteristik v dlitel'no rabotayushchem metalle povrezhdennogo barabana kotla vysokogo davleniya / A. N. Smirnov N. V. Ababkov, E. V. Kozlov i dr. // Kontrol'. Diagnostika. - 2012. - №7. - pp. 13-17.
7. 8. Smirnov A. N. Strukturnaya povrezhdennost' staley i yeye otsenka spektral'no-akusticheskimi i elektronno-mikroskopicheskimi metodami // Kontrol'. Diagnostika. - 2004. - № 4. - pp. 13-18.
8. Smirnov A. N. Mikrostruktura, polya vnutrennikh napryazheniy i akusticheskikh kharakteristik metalla razrushennogo rotora parovoy turbiny / A. N. Smirnov N. V. Ababkov, E. V. Kozlov i dr. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya. - 2014. - T. 57. № 10. - pp. 67-71.
9. Bykova, N. V. Nerazrushayushchiy kontrol' kachestva metalla parovykh turbin. Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy / N.V. Bykova, N.V. Ababkov, A.N. Smirnov, I.S. Bykov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2015. - № 4. - pp. 45-52.
10. Smirnov A. N. Strukturno-fazovoye sostoyaniye razrushennogo rotora parovoy turbiny vysokogo davleniya / A. N. Smirnov N. V. Ababkov, E. V. Kozlov i dr. // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. 2015. - № 12 (726). - pp. 50-57.
11. Smirnov A. N. Kriterii otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya dlitel'no rabotayushchego metalla oborudovaniya TES na osnove akusticheskoy strukturoskopii / A. N. Smirnov N. V. Ababkov, V. V. Murav'yev i dr. // Defektoskopiya. - 2015. - № 2.- pp. 44-51.
12. Smirnov A. N. Povrezhdayemost' svarnykh soyedineniy. Spektral'no-akusticheskii metod kontrolya / A. N. Smirnov N. A. Koneva, N. A. Popova i dr. // M.: Mashinostroyeniye, 2009. - p.278.
13. Smirnov A. N. Lokal'nyye polya napryazheniy v svarnykh soyedineniyakh, spektral'no-akusticheskii metod ikh budushchego i sinergeticheskii podkhod k materialovedeniyu / A. N. Smirnov, S. V. Fol'mer, N. V. Ababkov // Vestnik KuzGTU. - 2009. - №3. - pp. 28-38.
14. Makhalov, M. S. Opredeleniye ostatochnykh napryazheniy uprochnennogo poverkhnostnogo sloya resheniy nerazrushayushchego kontrolya // sbornik trudov II-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Inzheneriya poverkhnostnogo sloya detaley mashin». - Minsk: BNTU, 2010. - pp. 241-242.
15. Smirnov A. N. Gradiyentnyye struktury pri obrabotke metallov rezaniyem / A. N. Smirnov N. V. Ababkov, E. V. Kozlov i dr. - Kemerovo: OOO «Sibirskaya izdatel'skaya gruppa», 2013 g. - p.179.
16. Nikitenko, M. S. Razrabotka kompleksa sredstv tekhnicheskoy diagnostiki, vosstanovleniya i uprochneniya elementov gornodobyvayushchego oborudovaniya / M. S. Nikitenko, K. V. Knyaz'kov, N. V. Ababkov dr. // Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). - 2013. - № S6. - pp. 447-456.

Поступило в редакцию 11.07.2017

Received 11.07.2017