

**ПЕРСПЕКТИВЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ ОТРЕЗАНИЯ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ**

*В.А. Залоза, д-р техн. наук, профессор;  
Р.М. Зинченко, канд. техн. наук, доцент;  
Н.П. Кутовой, аспирант;  
В.М. Романенко, студент*

*Сумский государственный университет, г. Сумы*

*В данной статье рассмотрен вопрос о перспективах использования метода диагностики состояния режущего инструмента по акустическому излучению в процессе отрезания.*

*У даній статі розглянуто питання про можливість використання методу діагностики стану ріжучого інструменту за акустичним випромінюванням у процесі відрізання.*

В современном машиностроении обработка резанием все еще остается преобладающим способом формообразования, на долю которой приходится более трети общей трудоемкости изготовления изделий [1]. Дороговизна режущего инструмента требует максимального использования ресурса его работы, поскольку только в этом случае возможно получение экономического эффекта от его использования. Доверять лишь опыту рабочего или наладчика станков с ЧПУ становится экономически неоправданным. Одним из решений этой проблемы может быть диагностика процесса обработки и, в частности, диагностика износа режущего инструмента. Традиционная реализация систем диагностики на основе измерения силы, температуры резания и/или акустической эмиссии, несмотря на хорошую достоверность этих методов, связана с достаточно сложной модернизацией обрабатывающего оборудования, необходимостью применения дорогостоящих анализирующих приборов. К тому же известны случаи, когда традиционные схемы вообще не могут быть реализованы.

Вопросами диагностики процесса резания занимались: Chen J.C. [2] Marek Miernik [3], Подураев В.Н., Барзов А.А., Горелов В.А., Бахирев М.А., Герасимов С.А., Ко J.T., Cho D.W., Shirase K., Chen I.J., Li X., Yonghong P., Mou J. [2, 4 - 11], Кокаровцев В.В. [12], Жигика Я. [13]. Ими показана возможность повышения ресурса инструмента на 20-35% и уменьшения количества брака за счет своевременной корректировки процесса. Харизоменов И.В. [14], Аксенов Г.И., Гареев Ю.Г. [15] занимались бесконтактными методами контроля состояния режущего инструмента (РИ). Также диагностикой состояния инструмента занимались Деревянченко А.Г., Павленко В.Д., Поляков М.В., Бовнегра М.В., Любченко В.В. [16 - 19].

В последние годы все большее внимание специалистов привлекает перспектива акустической диагностики процесса резания, которая не требует внесения существенных изменений в конфигурацию технологической системы. Действительно, хорошо известно, что излучение звуковых волн - акустическое излучение (АИ) - всегда сопутствует процессу обработки. Его спектр чрезвычайно широк - от десятков герц до десятков килогерц, а многообразие параметров предопределяет выявление тесных корреляционных связей с технологическими условиями обработки. Современное развитие вычислительной техники и аппаратуры для обработки акустических сигналов позволяет реализовать относительно дешевый комплекс регистрации и анализа акустического излучения в процессе резания, для

которого необходимо только наличие компьютера с установленной звуковой платой и микрофон. При этом теоретические основы, методики и алгоритмы принятия решения об отказе инструмента или определения величины его износа по показателям АИ представлены в ряде работ, в частности в [20]. В этой работе доказана возможность применения сигнала АИ для процессов продольного точения. Вместе с тем одним из перспективных направлений использования этого метода диагностики состояния режущих инструментов является процесс отрезания, имеющий ряд характерных особенностей, отличающих его от других видов обработки. В частности, процесс отрезания характеризуется, как правило, малой жесткостью инструмента в связи с большим вылетом инструмента (в зависимости от диаметра обрабатываемой поверхности – до нескольких десятков мм) и небольшой шириной инструмента (чаще всего несколько мм), что связано с необходимостью экономии обрабатываемого материала: чем шире будет отрезной инструмент, тем большая часть заготовки будет превращена в отходы - стружку).

Процессами отрезания занимались Жарков И.Г., Каширин А.И., Suizo Doi, Штейнберг И.С. [21, 22, 23, 24] и другие ученые. Однако, как показал обзор литературы, динамическому состоянию инструмента в процессе отрезания, в значительной мере определяющему его работоспособность (стойкость, надежность и др.), уделяется еще недостаточно внимания, и, как правило, динамическое состояние системы «станок – приспособление – инструмент - деталь» оценивают путем использования информации по этому вопросу о динамике продольного точения. Вместе с тем «приравнивать» рекомендации, разработанные для процесса продольного точения, к процессу отрезания не совсем корректно, так как процесс отрезания является более напряженным вследствие малого отношения ширины инструмента к длине головки отрезного резца, и «зажатости» инструмента в процессе обработки по сравнению, например, с процессом продольного точения: в процессе отрезания рабочий участок главной режущей кромки равен ее длине, в работе всегда участвует не менее трех режущих кромок (одна главная и две вспомогательных), что, как правило, затрудняет отвод стружки. В таких условиях работы значительно чаще, чем при продольном точении, возникают вибрации, что сопровождается (в связи с увеличением как действительного пути резания, так и динамических сил резания) повышенным износом инструмента и преждевременным выходом инструмента из работоспособного состояния (поломкой). Поэтому вопрос диагностики состояния отрезных резцов и своевременное прекращение процесса обработки для восстановления его режущей способности или корректирование режима резания является важным и, особенно с увеличением объемов использования труднообрабатываемых материалов, актуальным. В данной статье рассмотрен вопрос о перспективах применения метода диагностики состояния при помощи АИ для процесса отрезания.

Для поставленной задачи - оценки возможности диагностирования состояния инструмента по АИ - разработана специальная методика проведения исследований, включающая:

- разработку экспериментальной установки, которая бы позволяла проводить процесс отрезания на различных режимах резания и с различными геометрическими параметрами инструмента;
- разработку методики регистрации сигнала АИ;
- разработку плана эксперимента;
- методику проведения исследований сигнала АИ в соответствии с разработанным планом эксперимента;
- методику обработки результатов экспериментов.

### Экспериментальная установка

Для проведения экспериментов была разработана экспериментальная установка на базе токарного станка 16К20Т1 с системой ЧПУ «Электроника НЦ-31». (рис. 1).



Рисунок 1 – Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состоит из: собственно станка (1) с системой ЧПУ (2), обрабатываемой детали (3), резцедержателя (4), в котором закреплен резец (5), микрофона (7), закрепленного на штативе (6), и портативного компьютера (8), на который подается сигнал АИ.

Принцип работы установки заключается в следующем. Волна АИ 4 (рис. 2), которая излучается в процессе резания инструментом (1) и заготовкой (2), принимается микрофоном (3), усиливается при помощи встроенного непосредственно в микрофон усилителя, преобразуется в аналоговый сигнал (при помощи микрофона колебания частиц воздуха преобразуются в колебания электрического сигнала), который передается на вход звуковой карты компьютера. Далее звуковая карта посредством АЦП преобразует колебания электрического сигнала в цифровой вид, после чего с помощью специально разработанной программы «Monitoring system», окно которой представлено на рис. 3, происходит преобразование сигнала по методу быстрого преобразования Фурье с построением спектра сигнала.

Для проведения эксперимента с целью возможности изменения геометрии лезвия в широком диапазоне использовались отрезные резцы с напайными пластинами из материал ВК8.

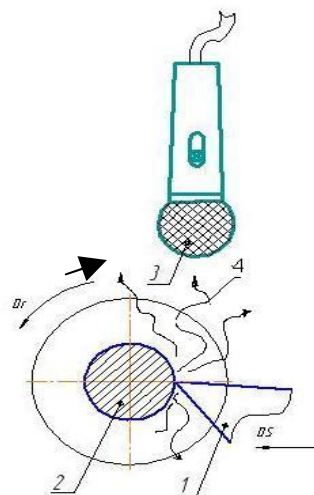


Рисунок 2 – Схема распространения АИ при отрезании

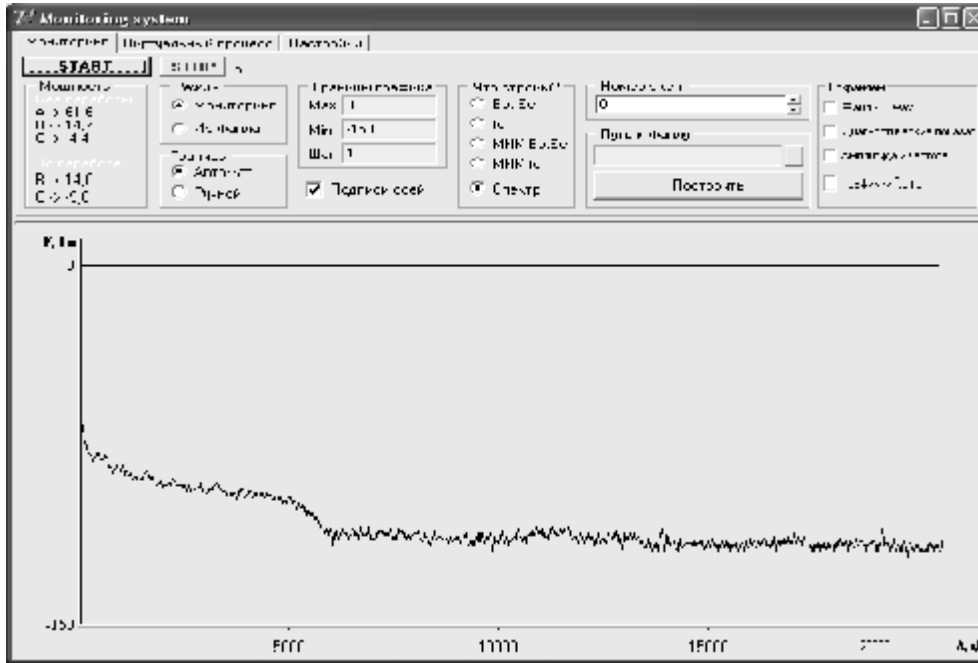


Рисунок 3 – Окно программы для обработки сигнала АИ

### План эксперимента

При исследованиях варьировались: режимы резания (глубина резания  $t$  (ширина пластины), подача  $S$  и скорость резания  $V$ ) и углы лезвия (передний  $\gamma$  и задний  $\alpha$ ) в главной секущей плоскости (табл. 1).

Таблица 1 – План эксперимента

Пор. Номер	$t$ (ширина пластины), мм	$S$ , мм/об	$V$ , м/мин	$\gamma$ , °	$\alpha$ , °
1	4	0,05	50	10	5
2	4	0,1	100	10	5
3	4	0,15	150	10	5
...	...	...	...	...	...
10	3	0,05	50	10	5
11	3	0,1	100	10	5
12	3	0,15	150	10	5
...	...	...	...	...	...
20	4	0,1	100	12	5
21	4	0,1	100	12	0
22	4	0,1	100	10	5

### Исследование зависимости сигнала АИ от режимов обработки

По данным плана эксперимента были построены спектры сигнала АИ при различных комбинациях режимов резания (рис.4-6).

Из рисунка 4 видно, что с увеличением скорости резания (принятая в опыте скорость резания при отрезании оставалась постоянной за счет изменения частоты вращения) амплитуда сигнала АИ по всей ширине

спектра (от 6000Гц и до 22050Гц) увеличивается, причем эта зависимость имеет нелинейный характер: степень изменения амплитуды сигнала АИ при увеличении скорости резания от 100 до 150 м/мин больше, чем при изменении скорости от 50 до 100м/мин. Следует отметить, что аналогичная тенденция изменения амплитуды сигнала АИ наблюдается и при продольном точении.

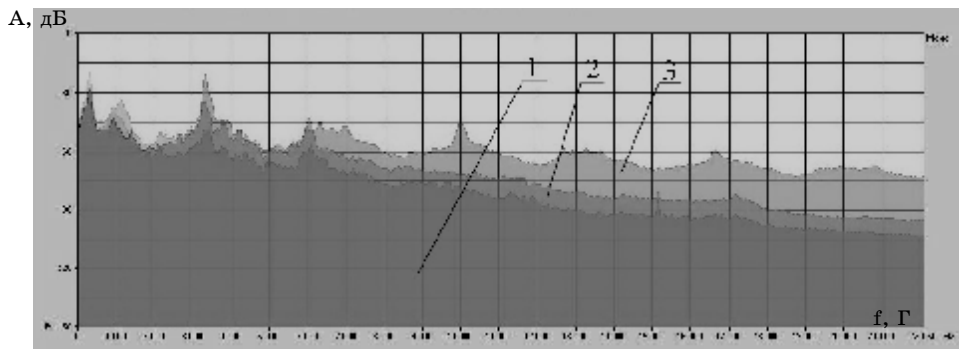


Рисунок 4 – Спектр акустического излучения при отрезании ( $S=0,15\text{м/об}$ ;  $t=4\text{мм}$ ), 1- $v=50\text{м/мин}$ ; 2- $v=100\text{м/мин}$ ; 3- $v=150\text{м/мин}$

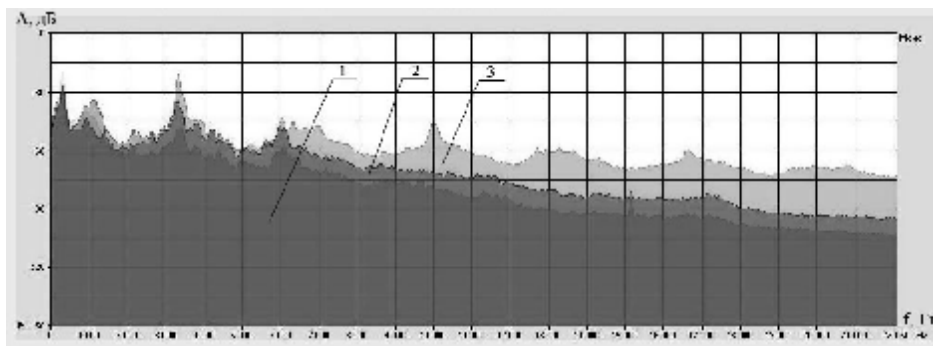


Рисунок 5 – Спектр акустического излучения при отрезании ( $t=4\text{мм}$ ;  $v=100\text{м/мин}$ ), 1- $S=0,05\text{м/об}$ ; 2- $S=0,1\text{м/об}$ ; 3- $S=0,15\text{м/об}$

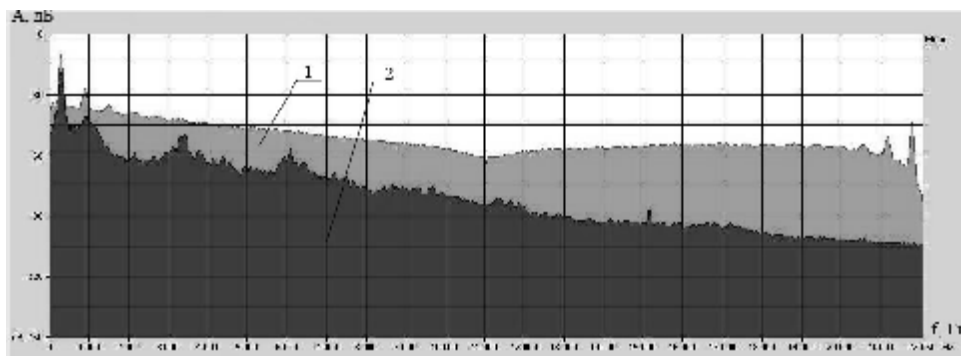


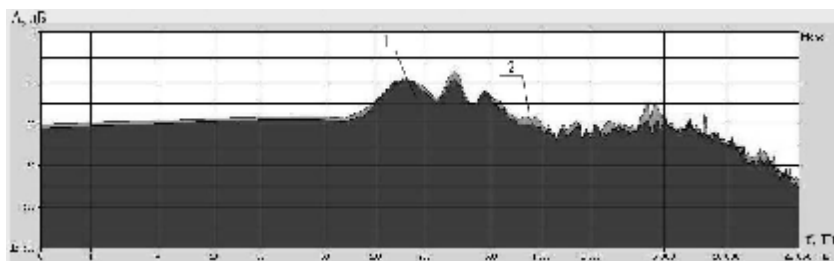
Рисунок 6 – Спектр акустического излучения при отрезании ( $S=0,15\text{м/об}$ ;  $v=100\text{м/мин}$ ), 1- $t=4\text{мм}$ ; 2- $t=3\text{мм}$

При увеличении подачи (рис. 5) и глубины резания (ширины лезвия), как и в случае продольного точения, также имеет место увеличение

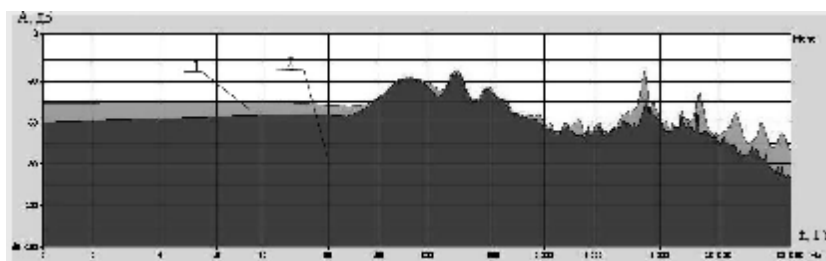
амплитуды сигнала АИ. Отличие заключается в том, что при увеличении  $t$  наблюдаемое изменение амплитуды сигнала затрагивает уже не часть спектра, как в случае при изменении скорости резания и подачи (от 6000Гц до 22050Гц), а всю ширину спектра.

#### **Исследование зависимости сигнала АИ от геометрических параметров лезвия**

По данным плана эксперимента были построены спектры сигнала АИ при различных комбинациях углов в главной секущей плоскости (рис. 7, 8).



*Рисунок 7 – Спектр акустического излучения при отрезании ( $S=0,1\text{мм/об}$ ;  $v=100\text{м/мин}$ ,  $t=4\text{мм}$ ,  $\alpha=12^\circ$ ), 1-  $\gamma=5^\circ$ ; 2-  $\gamma=0^\circ$*



*Рисунок 8 – Спектр акустического излучения при отрезании ( $S=0,1\text{мм/об}$ ;  $v=100\text{м/мин}$ ,  $t=4\text{мм}$ ,  $\gamma=0^\circ$ ), 1-  $\alpha=12^\circ$ ; 2-  $\alpha=10^\circ$*

На основании анализа спектров акустического излучения при отрезании установлено, что при уменьшении переднего угла амплитуда сигнала АИ по всей ширине спектра (от 6000Гц и до 22050Гц) остается практически неизменной (рис. 7), в то время как с уменьшением заднего угла амплитуда АИ по все величине спектра уменьшается (рис. 8), что, вероятно, связано с изменением (улучшением) условий демпфирования системы «станок – приспособление – инструмент - деталь».

#### **ВЫВОДЫ**

1 Показано, что применение метода акустического излучения для диагностики состояния инструмента при отрезании является возможным (параметры АИ изменяются при изменении условий обработки) и перспективным.

2 В результате проведенных исследований установлено:

- все параметры режима резания существенно влияют на амплитуду сигнала АИ практически во всем спектре частот, что должно обязательно учитываться при разработке систем диагностики состояния режущего инструмента при отрезании, т.е. входить в состав входных показателей);

- из геометрических параметров режущей части отрезного резца наибольшее влияние оказывает задний угол, причем с его увеличением амплитуда сигнала АИ возрастает.

## SUMMARY

### TO THE QUESTION ON THE OPPORTUNITY OF DIAGNOSING OF THE TOOL DURING CUTTING ON ACOUSTIC RADIATION

V.A. Zaloha, R.N. Zinchenko, N.P. Kutoviy, V.N. Romanenko  
Sumy State University

*In given clause the question on an opportunity of use of a method of diagnostics of a condition of the cutting tool on acoustic radiation, during cutting is considered.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Present Situation and Future Trends in Modeling of Machining Operations: Progress Report of the CIRP Working Group Modeling of Operations //Annals of CIRP. - 1998. - Вып. 47, № 2. - С. 587 - 621.
2. Chen I. J. An effective fuzzy-nets training scheme for monitoring tool breakage //J. Intell. Manuf. - 2000. -Вып. 11, № 1. - С. 85- 101.
3. Miernik M. Application of neural networks for chip-type prediction in the turning of cobalt alloys//Eur. J. Mech. Eng. [Rev. M]. - 1997. - Вып. 42, № 2. - С. 79- 82.
4. Подураев В. Н., Барзов А. А., Горелов В. А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. - М.: Машиностроение, 1988. -56 с.
5. Ko J. T., Cho D. W. Adaptive modelling of the Millin Process and Application of a Neural Network for Tool Wear Monitoring //Int. J. Adv. Manuf. Technology. -1996.-№12. - С. 5- 13.
6. Shirase K., Ikeo S., Hirao M. и др.и др. New approach to detect tool breakage in end milling on competitive neural network methodology //Int. J. Jap. Soc. Precis. Eng. -1994. - Вып. 28, № 3. - С. 233-234.
7. Chen I. J. A fuzzy-nets tool-breakage detection system for end-milling operations //Int. J. Adv. Manuf. Technol. -1996. -Вып. 12, № 3. - С. 153- 164.
8. Li X., Pong S., Veruvinod P.K. Hybrid learning for tool wear monitoring // Int. J. Adv. Manuf. Technol. - 2000. - Вып. 16, № 5. - С. 303- 307.
9. Yonghong P., Tongjian C. , Tse P. W. Wavelet packet and fuzzy neural network for tool wear monitoring //J.S. China. Univ. Technol. Natur. Sci. -1998. -Вып. 26, № 11. - С. 150- 159.
10. Li X. Q., Wong Y. S., Nee A. Y. A comprehensive identification of tool failure and chatter using a parallel multi-ART2 neural network // Trans. ASME J. Manuf. Sci. and Eng. - 1998. -Вып. 120, № 2. -С. 433-442.
11. Mou J. A Method of Using Neural Networks and Inverse Kinematics for Machining Tools Error Estimation and Correction //J. of Manuf. Science and Engineering: Trans. of ASME. -- 997. - Вып. 119. - С. 247- 254.
12. Кокаровцев В. В. Метод контролю та керування процесу металообробки на базі віброакустичного сигналу: Автореф. дисс.... канд.техн.наук:05.03.01/ НТУ "КПІ", 1994. - 20 с.
13. Жигика Я. Определение работоспособности режущего инструмента на основе анализа АЭ: Автореф. дисс.... канд. техн. наук:05.03.01/ НТУ "КПІ", 1990. - 19 с.
14. Харизоменов И.В. Бесконтактный контроль размеров в станкостроении. - М.: Машиностроение, 1975. - 160 с.
15. А.с. 1268374 SU, МКИ В 23 Q 15/00. Бесконтактный измерительный прибор / Г. И. Аксенов, Ю.Г. Гареев(SU). - №3906182; Заявлено 05.06.1985; Опубл. 07.11.1986. - Бюл. №41. - 6 с.
16. Деревянченко А.Г., Павленко В.Д. Отбор информативных признаков и распознавание состояний инструментов с применением нейронных сетей//Резание и инструмент. - Х.: ХГПУ, 2001. - № 59. -С. 52- 57.
17. Деревянченко А.Г., Полякова М.В., Бовнегра Л.В. и др. Новый подход к диагностированию концентрированного износа режущей части инструментов для прецизионной обработки // Резание и инструмент. - 2003. - № 64. - С. 59- 68.
18. Деревянченко А.Г. Підвищення ресурсу інструментів при прицевійній обробці на основі автоматизованого діагностування станів їх різальної частини: Автореф. дисс.... докт. техн. наук: 05.03.01/ ХГПУ. - Х., 1999. -35 с.
19. Деревянченко А.Г., Полякова М.В., Любченко В.В. и др. Подход к диагностированию состояний режущих кромок инструментов с использованием теории фракталов //Резание и инструмент. - 2002. - № 61. - С. 40- 46.
20. Зинченко Р.Н. Повышение эффективности точения за счет диагностики износа инструмента по акустическому излучению: Дисс.... канд. техн. наук: 05.03.01. - Харьков, 2005. - 188 с.
21. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. - Л.: Машиностроение, 1986. - 184 с.: ил.
22. Исследование вибрации при резании металлов. Проф., д-р техн. наук А.И. Каширин. - Академия Наук Союза СССР. - Москва, 1944.
23. Suizo Doi (Kogakushi) Experiments of Cutting. K. Jum College of Engineering Publication 4.
24. И.С. Штейнберг. Устранение вибраций, возникающих при резании металлов на токарном станке. Государственное Научно-Техническое издательство машиностроительной литературы. - Москва, 1947. - 98 с.

*Поступила в редакцию 29 мая 2009 г.*