

УДК: 629.122
OECD: 2.07

Результаты измерения параметров шума маломерного судна на швартовых и ходовых испытаниях

Покусаев М.Н.¹, Хмельницкий К.Е.^{2*}, Хмельницкая А.А.³, Климов Д.А.⁴

¹ Д.т.н., профессор, ² Аспирант, ³ Ассистент, ⁴ Магистрант

^{1,2,3,4} Кафедра «Эксплуатация водного транспорта», Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, РФ

Аннотация

Шум водного транспорта является одним из видов загрязнений окружающей среды, который распространяется не только во внешнюю окружающую среду, но и влияет на экипаж маломерного судна. Шум маломерного судна можно разделить на отдельные виды: воздушный шум от работы двигателя внутреннего сгорания; шум от подводного выхлопа; шум от работы гребного винта; структурный шум от вибрации корпуса лодки и шум набегающего потока воды. В статье авторами оценивается изменение шума моторного маломерного судна при его испытаниях на швартовых и ходовых испытаниях с достижением максимальной скорости при глиссировании. Измерения шума производились при помощи комплекса «Экофизика-110А» с анализом спектра программой «Signal+3G Light». На основании проведенных исследований было установлено, что уровень шума для экипажа лодки весьма значительный, средний уровень превышает на швартовых и на ходовых испытаниях принятый на морских и речных судах санитарный уровень шума в 85 дБА. Отмечено влияние движения лодки на высокочастотный шум, который снижается в большей мере при движении на среднем ходу, на полном ходу этот эффект полностью теряется.

Ключевые слова: шум моторной лодки, подвесной лодочный мотор, судовые энергетические установки, испытания судов, маломерное судно, снижение шума судов.

Results of measuring the noise parameters of a small vessel during mooring and sea trials

Pokusaev M.N.¹, Khmel'nitsky K.E.^{2}, Khmel'nitskaya A.A.³, Klimov D.A.⁴*

¹ DSc, professor, ² Postgraduate student, ³ Assistant, ⁴ Master's degree

^{1,2,3,4} The Department of Operation of Water Transport, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Abstract

Water transport noise is a type of environmental pollution that spreads not only to the external environment, but also affects the crew of a small vessel. The noise of a small vessel can be divided into separate types: air noise from the internal combustion engine; noise from the underwater exhaust; noise from the propeller; structural noise from the vibration of the boat hull and the noise of the incoming water flow. In the article, the authors evaluate the change in the noise of a small motor vessel during its mooring and sea trials with the achievement of maximum speed during planing. Noise measurements were made using the «Ecofizika-110A» complex with spectrum analysis by the «Signal+3G Light» program. Based on the conducted research, it was found that the noise level for the boat's crew is very significant, the average level exceeds the

sanitary noise level of 85 dBA accepted on sea and river vessels during mooring and sea trials. The effect of boat movement on high-frequency noise is noted, which is reduced to a greater extent when driving at medium speed, at full speed this effect is completely lost.

Keywords: motor boat noise, outboard boat motor, ship power plants, ship testing, small vessel, ship noise reduction.

Введение

Современное развитие транспорта, в том числе и водного, приводит к загрязнению окружающей среды токсичными выбросами, мусором, нефтесодержащими водами, горюче-смазочными материалами, а также, шумом и вибрацией. Немалую долю в общий объем загрязнений вносит шум маломерных судов с подвесными лодочными моторами, количество которых на водных путях России весьма велико. Допустимый уровень внешнего шума маломерного судна в окружающую среду определяется согласно нормативным документам: ГОСТ 28556-2016 «Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности», [1]; ТР ТС 026/2012 «О безопасности маломерных судов», [2]; ГОСТ 17.2.4.04-82 «Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Нормирование внешних шумовых характеристик судов внутреннего и прибрежного плавания», [3]. Для судов с подвесными лодочными моторами, которые являются основными типами главных двигателей для маломерного флота, в зависимости от даты изготовления и мощности моторов, максимальный уровень звукового давления может составлять от 67 до 75 дБА. Но, если внешний шум от маломерных судов в окружающую среду нормируется, и за его превышение предусмотрено административное наказание в виде штрафа, то шум для экипажа лодки никак не регламентируется, хотя его величина может быть значительной. Согласно проведенным авторами исследованиям [4, 5, 6], а также, исследованиям Эриха Богадтке (Erich Bogadtke) [7, 8], средний эквивалентный уровень шума на расстоянии 1-го метра от мотора на полном ходу составляет от 87 дБА (для мотора «Hangkai 4.0») до 94 дБА (для мотора «SEA-PRO 5.0»), что превышает, например, рекомендуемые международной морской организацией ИМО нормы для экипажа морского судна в 85 дБА, [9]. Для комплексного снижения уровня шума маломерного судна необходимо определиться с отдельными составляющими и причинами возникновения шума. Также следует оценить изменение параметров шума (и его видов) при различных условиях эксплуатации моторной лодки. Цель эксперимента состояла в измерении параметров шума маломерного судна с подвесным лодочным мотором на швартовых и ходовых испытаниях и сравнение полученных результатов. Одной из задач эксперимента являлось экспериментальное подтверждение гипотезы о снижении высокочастотного воздушного шума и повышении низкочастотного структурного шума из-за воздействия потока воды при высокой скорости моторной лодки.

1. Материалы и методы

Объектом для испытаний являлась популярная моторная лодка типа «Южанка» (рис. 1) со следующими техническими характеристиками: наибольшая длина: 4200 мм; наибольшая ширина: 1650 мм; высота борта на миделе: 650 мм; высота транца: 380 мм; максимальная мощность подвесного лодочного мотора (ПЛМ): 30 л.с.



Рис. 1. Измерения шума на маломерном судне «Южанка»

На лодке использовался подвесной лодочный мотор «Mercury 30» с номинальной мощностью 30 л.с. Проводились измерения как шума для экипажа, так и шума в окружающую среду (на расстоянии 25 метров от моторной лодки), поэтому условия проведения испытаний определялась по ГОСТ ISO 14509-1-2015, [10]. Следует указать, что в данной статье ансупализируются результаты только для шума, определенного для экипажа моторной лодки.

Условия проведения испытаний:

- Состояние водной поверхности: малая рябь;
- Высота волн: 25 мм.

Допустимая максимальная высота волны определяется по ГОСТ ISO 14509-1-2015, [10] по формуле:

$$h_{\text{доп}} = L_w / 50 \quad (1)$$

где $L_w = 4200$ мм, длина судна.

Таким образом, допустимая расчетная высота волны $h_{\text{доп}} = 4200 / 50 = 84$ мм.

- Глубина фарватера по курсу: от 2 до 5 м;
- Скорость ветра: 4 м/с;
- Акватория: река Волга;
- Фоновый уровень шума: 55 дБА.

Перед проведением испытаний была произведена поверка шумомера портативным калибратором на частоте 1000 Гц с уровнем звукового давления 114 дБ, измеренный уровень составил 114,6 дБ, что не превышает требуемой погрешности в 1 дБ, согласно ГОСТ ISO 14509-1-2015, [10], поэтому испытания производились без дополнительной настройки прибора.

Разница между уровнем шума среднего эквивалентного измеренного для различных вариантов работы подвесного лодочного мотора и уровнем фона составляет более 10 дБА, что является допустимой величиной, поэтому корректировка на уровень шума фона результатов испытаний не требуется. Результаты измерений не требуют также корректировки по расстоянию от микрофона до источника шума.

Используемые контрольно-измерительные приборы и программное обеспечение:

- Шумомер-виброметр, анализатор спектра «Экофизика-110А» (белая), [11];
- Акустический калибратор АК-1000, [12];

- Программное обеспечение: «Signal+3G Light» производства ООО «ПКФ Цифровые приборы»;

- Программный GPS-спидометр.

Измерительное оборудование соответствует требованиям ГОСТ ISO 14509-1-2015, [10].

2. Гипотеза

Авторы приняли гипотезу, что шум маломерного судна разделяется на следующие составляющие: воздушный шум от работы двигателя внутреннего сгорания; шум от подводного выхлопа; шум от работы гребного винта; структурный шум от вибрации корпуса лодки (рис. 2). При этом, при движении на максимальной скорости лодки авторами ожидалось увеличение низкочастотного структурного шума корпуса из-за набегающего потока воды и ударов корпуса лодки о волны и снижение высокочастотного шума из-за возникающего «уноса звука ветром».

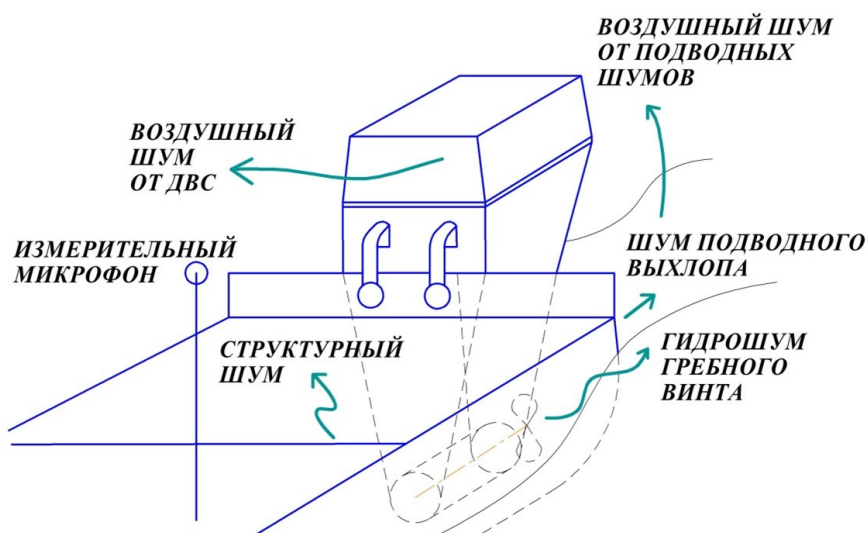


Рис. 2. Составляющие шума маломерного судна

3. Методика проведения и результаты эксперимента

Первым этапом экспериментов было измерение шума маломерного судна при испытаниях на швартовых. Для этого, корма лодки была зафиксирована при помощи каната с диаметром 50 мм за береговое крепление.

Изменение режимов работы подвесного лодочного мотора «Mercury 30» производилось ступенчато, при помощи позиционного переключателя на посту дистанционного управления рулевого моторной лодки в носовой части. Это приводит к ступенчатому открытию дроссельной заслонки мотора, что соответствует следующим параметрам частоты вращения мотора:

- малый ход - 30% открытие заслонки - частота вращения 1650 об/мин;
- средний ход - 60% открытие заслонки - частота вращения 3300 об/мин;
- полный ход - 100% открытие заслонки - частота вращения 5500 об/мин.

Режим максимальной скорости (в данной статье определяется как режим «глиссирование») требовал постепенного разгона лодки после установки полного режима работы подвесного лодочного мотора.

Шум измерялся в кормовой части лодки на расстоянии 1-го метра от подвесного лодочного мотора на уровне уха сидящего человека. Шум измерялся при помощи шумомера 1-го класса «Экофизика-110А». Результаты частотного анализа измеренного шума по характеристике А (восприятие шума человеческим ухом) приведены в табл. 1, а сравнение амплитуд шума на разных режимах и частотах, по отношению к параметрам на режиме малого хода - в табл. 2.

Таблица 1

Результаты измерения шума моторной лодки «Южанка» с подвесным лодочным мотором «Mercury 30» на швартовых испытаниях

Режим работы мотора*	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Средний экв. уровень шума, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Малый ход	51,4	52,9	57,1	64,4	53,2	52,5	51,4	41,1	70,3
Средний ход	55,8	58,5	62,7	68,2	66,0	57,7	58,1	46,7	76,5
Полный ход	56,7	62,8	77,7	76,7	74,2	70,4	66,2	55,1	88,8

*Примечание: * лодка была зафиксирована на швартовых канатах, скорость её движения равна нулю*

Таблица 2

Изменение шума маломерного судна «Южанка» с подвесным лодочным мотором «Mercury 30» на швартовых испытаниях

Режим работы мотора	Отношение звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Отношение средних экв. уровней шума
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Малый ход	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Средний ход/ Малый ход	1,09	1,11	1,10	1,06	1,24	1,10	1,13	1,14	1,09
Полный ход/ Малый ход	1,10	1,19	1,36	1,19	1,39	1,34	1,29	1,34	1,26

Как видно из табл. 1 и 2, максимальные амплитуды шума на швартовых испытаниях наблюдались на средних частотах 250 - 1000 Гц, которые характерны для воздушного шума от двигателей внутреннего сгорания. На полном ходу (полной мощности мотора) шум смещается в зону низких частот, поскольку ожидаемо возрастает структурный шум от лодки.

Вторым этапом эксперимента было проведение замеров уровня шума на тех же режимах работы мотора, но при движении лодки на свободной воде. Глиссерный режим соответствовал максимальной скорости лодки 38 км/ч. Результаты измерений представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Результаты измерения шума моторной лодки «Южанка» с подвесным лодочным мотором «Mercury 30» на ходовых испытаниях

Режим работы мотора	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Средний экв. уровень шума, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Малый ход	57,2	59,9	62,2	55,6	56,1	56,2	49,6	41,6	72,6
Средний ход	73,5	55,9	60,8	57,7	58,3	57,5	51,0	43,0	75,3
Полный ход	81,3	82,7	83,7	82,1	78,8	71,1	65,6	56,6	93,3
Глиссирование	80,4	87,0	89,5	87,2	84,5	77,0	65,7	55,3	98,7

Таблица 4

Изменение шума маломерного судна «Южанка» с подвесным лодочным мотором «Mercury 30» на ходовых испытаниях

Режим работы мотора	Отношение звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Отношение средних экв. уровней шума
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Малый ход	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Средний ход/ Малый ход	1,28	0,93	0,98	1,04	1,04	1,02	1,03	1,03	1,04
Полный ход/ Малый ход	1,42	1,38	1,35	1,48	1,40	1,27	1,32	1,36	1,29
Глиссирование/ Малый ход	1,41	1,45	1,44	1,57	1,51	1,37	1,32	1,33	1,36

Как видно из табл. 3, распределение амплитуд шума идет неравномерно, с ростом в области низких и средних частот и снижением на высоких частотах.

Зависимость уровня шума на среднегеометрических частотах и на разных режимах работы мотора на ходовых испытаниях представлена на рис. 3.

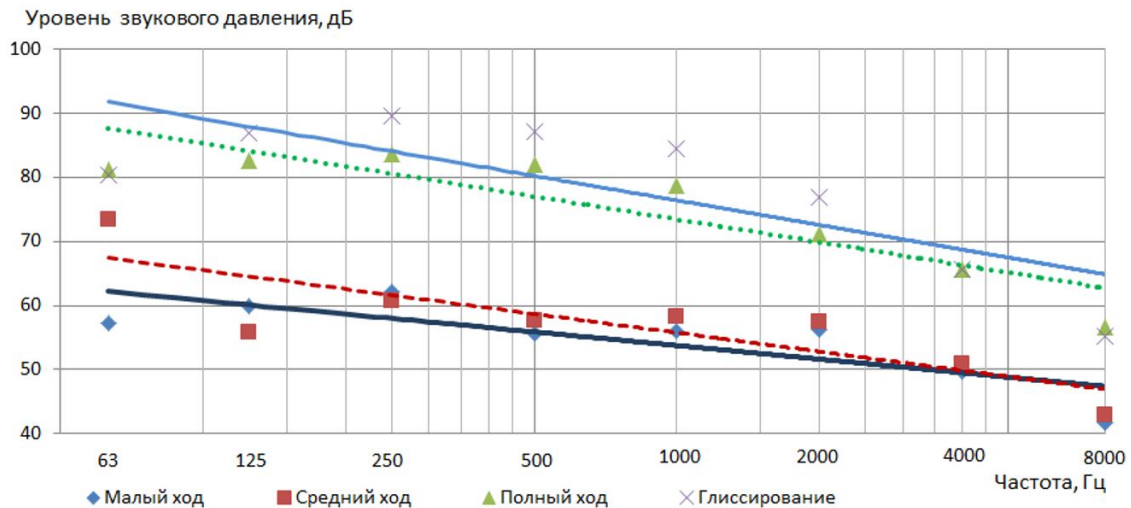


Рис. 3. Зависимость уровней звукового давления на среднегеометрических частотах при ходовых испытаниях

Для анализа изменения амплитуд шума на среднегеометрических частотах на швартовых и ходовых испытаниях была сформирована табл. 5.

Таблица 5

Разница между амплитудами шума на ходовых и швартовых испытаниях

Режим работы мотора	Разница максимальных уровней звукового давления (на ходовых и швартовых испытаниях), дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Разница между средними экв. уровнями шума, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Малый ход	5,80	7,00	5,10	-8,80	2,90	3,70	-1,80	0,50	2,30
Средний ход	17,70	-2,60	-1,90	-10,50	-7,70	-0,20	-7,10	-3,70	-1,20
Полный ход	24,60	19,90	6,00	5,40	4,60	0,70	-0,60	1,50	4,50
Глиссирование	23,70	24,20	11,80	10,50	10,30	6,60	-0,50	-0,20	9,90

Как видно из табл. 5, на полном ходу и на глиссировании идет увеличение общего среднего эквивалентного уровня шума на разницу от 4,5 до 9,9 дБА, при этом, в области низких частот рост идет существенный, а в области высоких - наоборот, снижение. Очевидно, что рост на полном ходу связан со структурным шумом и возникновением резонансных колебаний корпуса лодки, а амплитуды на высоких частотах снижаются из-за набегающего потока воздуха, однако такое снижение незначительно на полном ходу и сравнимо с погрешностью измерений. Интересными являются результаты для режима среднего хода мотора, на котором рост амплитуд шума отмечен только в области низких частот, на остальных частотах амплитуды шума снижаются, что может объясняться отсутствием резонансных колебаний корпуса лодки.

Заключение

На основании проведенных исследований сделаем соответствующие выводы:

1. Результаты измерений показали, что характер шума при движении лодки отличается от шума на швартовых, поэтому, необходим учет структурного шума корпуса лодки от набегающего потока воды. Это может быть учтено, например, при проектировании различных методов снижения шума - шумоизоляции, виброизоляции, установке глушителей шума выхлопных газов.

2. Уровень шума для экипажа лодки весьма значительный, средний уровень превышает (на полном ходу) на швартовых (на 3,8 дБА или на 4,5%) и на ходовых испытаниях (на 13,7 дБА или на 16%) принимаемый на морских и речных судах санитарный уровень шума в 85 дБА. Мы рекомендуем распространить данную норму на шум для экипажей маломерных судов с подвесными лодочными моторами.

3. Отмечено влияние движения лодки на высокочастотный шум, который снижается в большей мере при движении на среднем ходу, на полном ходу этот эффект полностью теряется. Это, вероятнее всего, вызвано эффектом перемещения атмосферных слоев при набегающем ветре и снижением высокочастотного шума, который улавливается микрофоном.

4. Задача по снижению шума моторного маломерного судна требует комплексного подхода, очевидно, что воздушный высокочастотный шум может быть снижен при помощи капотирования, а низкочастотный - при помощи виброизоляторов, устанавливаемых на креплениях мотора к транцу лодки.

Список литературы

1. ГОСТ 28556-2016. Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности. - М.: Стандартинформ, 2016. - 8 с.

2. Технический регламент таможенного союза ТР ТС 026/2012 «О безопасности маломерных судов», 2012. - 38 с.

3. ГОСТ 17.2.4.04-82. Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Нормирование внешних шумовых характеристик судов внутреннего и прибрежного плавания. - М.: Стандартинформ, 2004. - 5 с.

4. Покусаев М.Н., Хмельницкий К.Е. Анализ частотного спектра шума подвесного лодочного мотора Hangkai 4.0 при капотировании // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология, 2020. №3. с. 33-39.

5. Покусаев М.Н., Хмельницкий К.Е., Ильина Е.Г. Оценка эффективности капотов подвесных моторов маломерного судна в реальных условиях эксплуатации // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, 2020. №3 (44). с. 87-92.

6. Покусаев М.Н., Хмельницкий К.Е., Кадин А.А. Оценка эффективности использования виброизолирующих устройств для подвесных лодочных моторов // Научные проблемы водного транспорта, 2020. № 64. с. 124-130.

7. Тест подвесных лодочных моторов 15 л.с. [электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: <http://www.tohatsu.by/article/test-podvesnykh-lodochnykh-motorov-15-ls> (дата обращения: 01.02.2021).

8. Сравнительные испытания подвесных моторов мощностью 115 л.с. [электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: <http://www.motopilot.ru/test-drive> (дата обращения: 01.02.2021).

9. Кодекс по уровням шума на судах. Резолюция MSC.337(91). - СП-6: ЦНИИМФ, 2013. - 108 с.
10. ГОСТ ISO 14509-1-2015. Суда малые. Измерение шума малых моторных прогулочных судов. Часть 1. Измерение шума проходящего судна. - М.: Стандартиформ, 2016. - 19 с.
11. Шумомер-виброметр, анализатор спектра «Экофизика-110А». Паспорт ПКДУ.411000.001.02ПС. ООО «ПКФ Цифровые приборы». - М., 2014. - 12 с.
12. Паспорт на калибратор акустический АК-1000. ООО «ПКФ Цифровые приборы». - М., 2015. - 8 с.

References

1. GOST 28556-2016. Outboard motors. General safety requirement. - М.: Standartinform, 2016. - 8 s.
2. Tekhnicheskij reglament tamozhennogo soyuza TR TS 026/2012 «O bezopasnosti malomernyh sudov», 2012. - 38 s.
3. GOST 17.2.4.04-82. Nature protection. Atmosphere. Rating of ambient noise characteristics of inland and coastwise navigation ships. - М.: Standartinform, 2004. - 5 s.
4. Pokusaev M.N., Hmel'nickij K.E. Analysis of frequency spectrum of outboard motor Hangkai 4.0 noise when nosing // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya, 2020. №3. с. 33-39.
5. Pokusaev M.N., Hmel'nickij K.E., Il'ina E.G. Evaluation of the effectiveness of outboard engine hoods of a small vessel in real operating conditions // Vestnik Inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta, 2020. №3 (44). s. 87-92.
6. Pokusaev M.N., Hmel'nickij K.E., Kadin A.A. Evaluating the effectiveness of vibration-insulating devices use for outboard motors // Nauchnye problemy vodnogo transporta, 2020. № 64. s. 124-130.
7. Code on noise levels on board ships. Resolution MSC.337(91).
8. Test podvesnyh lodochnyh motorov 15 l.s. [electronic resource] - Available at - URL: <http://www.tohatsu.by/article/test-podvesnykh-lodochnykh-motorov-15-ls> (date of the application 01.02.2021).
9. Sravnitel'nye ispytaniya podvesnyh motorov moshhnost'ju 115 l.s. [electronic resource] - Available at - URL: <http://www.motopilot.ru/test-drive> (date of the application 01.02.2021).
10. GOST ISO 14509-1-2015. Small craft. Measurement of airborne sound emitted by powered recreational craft. Part 1. Pass-by measurement procedures. - М.: Standartinform, 2016. - 19 s.
11. Shumomer-vibrometr, analizator spektra «Ekofizika-110А». Pasport PKDU.411000.001.02PS. ООО «PKF Cifrovye pribory». - М., 2014. - 12 s.
12. Pasport na kalibrator akusticheskij АК-1000. ООО «PKF Cifrovye pribory». - М., 2015. - 8 s.