

СОГЛАСОВАНО

Первый заместитель генерального  
директора – заместитель по научной  
работе ФГУП «ВНИИФТРИ»



А.Н. Щипунов

08

2024 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Спектрометры подводные РЭМ-4Х

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

КУМП.6219.00.000 МП

р.п. Менделеево

2024 г.

## Оглавление

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	3
2. ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	3
3. ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ .....	4
4. ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ .....	5
5. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ .....	5
6. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ .	7
7. ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	7
8. ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	7
9. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	8
10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ.....	8
11. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.....	13

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящая методика применяется для поверки спектрометров подводных РЭМ-4Х (далее по тексту – спектрометр), используемых в качестве средств измерений в соответствии с ГОСТ 8.033-2023 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений активности радионуклидов, удельной активности радионуклидов, потока и плотности потока альфа-, бета-частиц и фотонов радионуклидных источников».

1.2. В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические характеристики, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование	Значение
Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения, МэВ	от 0,1 до 3,0
Пределы допускаемой относительной погрешности характеристики преобразования (интегральная нелинейность), %	$\pm 1$
Относительное энергетическое разрешение линии 662 кэВ, %, не более	
- РЭМ-4-25 «Щуп»	15
- РЭМ-4-50	10
- РЭМ-4-76	12
Диапазон измерений активности радионуклида $^{137}\text{Cs}$ <sup>1)</sup> , Бк	от $5 \cdot 10^3$ до $10^5$
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений активности радионуклида $^{137}\text{Cs}$ , %	$\pm 30$
<sup>1)</sup> Приведен для радионуклидного точечного источника, размещаемого в середине торцевой поверхности спектрометра.	

1.3. При определении метрологических характеристик в рамках проводимой поверки обеспечивается передача единицы активности радионуклидов в соответствии с ГОСТ 8.033-2023, подтверждающая прослеживаемость к государственному первичному эталону ГЭТ 6-2016.

1.4. При определении метрологических характеристик поверяемого средства измерений используется метод прямых измерений.

## 2. ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. При проведении первичной (в том числе после ремонта) и периодической поверок должны выполняться операции, указанные в таблице 2.



Таблица 2 – Перечень операций поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
Проверка программного обеспечения (далее – ПО) средства измерений	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	10
Проверка диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения и определение пределов допускаемой относительной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)	Да	Да	10.1
Проверка относительного энергетического разрешения линии 662 кэВ	Да	Да	10.2
Проверка диапазона измерений активности радионуклида $^{137}\text{Cs}$ и пределов допускаемой относительной погрешности измерений активности радионуклида $^{137}\text{Cs}$	Да	Да	10.3

2.2. Поверка спектрометра прекращается в случае получения отрицательного результата при проведении хотя бы одной из операций, приведенных в таблице 2, а спектрометр признают не прошедшим поверку.

2.3. Не допускается проведение поверки для меньшего числа измеряемых величин.

### 3. ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1. При проведении поверки должны выполняться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С от +15 до +20;
- атмосферное давление, кПа от 84,0 до 106,7;
- относительная влажность воздуха, % от 30 до 80;

#### 4. ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1. Поверка спектрометра осуществляется аккредитованными в установленном порядке юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

4.2. Поверку могут проводить лица с высшим или средним техническим образованием, имеющие квалификацию поверителя, ознакомленные с руководством по эксплуатации спектрометра и допущенные к работам с источниками ионизирующих излучений.

#### 5. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1. При проведении поверки применяются эталоны и средства измерений, приведенные в Таблице 3.

Таблица 3

<i>Операции поверки, требующие применение средств поверки</i>	<i>Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки</i>	<i>Перечень рекомендуемых средств поверки</i>
п. 8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Средства измерений температуры окружающего воздуха в диапазоне измерений от +10 °С до +40 °С с абсолютной погрешностью не более $\pm 1$ °С; Средства измерений атмосферного давления в диапазоне измерений от 84,0 кПа до 106,7 кПа, с абсолютной погрешностью не более 0,5 кПа; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне измерений от 20 % до 85 %, с абсолютной погрешностью не более $\pm 5$ %.	Прибор комбинированный Testo 608-H1 (рег. № 53505-13);  Барометр рабочий сетевой БРС-1М-1 (рег. № 16006-97);  Прибор комбинированный Testo 608-H1 (рег. № 53505-13)



Продолжение таблицы 3

<i>Операции поверки, требующие применение средств поверки</i>	<i>Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки</i>	<i>Перечень рекомендуемых средств поверки</i>
п. 10.1 Проверка диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения и определение пределов допускаемой относительной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)	Эталоны единицы активности радионуклидов $^{60}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{152}\text{Eu}$ , $^{232}\text{Th}$ , соответствующие требованиям к эталонам не ниже рабочих эталонов 2 разряда по ГОСТ 8.033-2023	Источники фотонного излучения радионуклидные закрытые спектрометрические эталонные ОСГИ-3 (рег. № 46383-11) Источники радионуклидные фотонного излучения метрологического назначения закрытые ИМН-Г (рег. № 44591-10)
п. 10.2 Проверка относительного энергетического разрешения линии 662 кэВ	Эталоны единицы активности радионуклида $^{137}\text{Cs}$ , соответствующие требованиям к эталонам не ниже рабочих эталонов 2 разряда по ГОСТ 8.033-2023	Источники фотонного излучения радионуклидные закрытые спектрометрические эталонные ОСГИ-3 (рег. № 46383-11) Источники радионуклидные фотонного излучения метрологического назначения закрытые ИМН-Г (рег. № 44591-10)
п. 10.3 Проверка диапазона измерений активности радионуклида $^{137}\text{Cs}$ и определение пределов допускаемой относительной погрешности измерений активности радионуклида $^{137}\text{Cs}$	Эталоны единицы активности радионуклида $^{137}\text{Cs}$ , соответствующие требованиям к эталонам не ниже рабочих эталонов 2 разряда по ГОСТ 8.033-2023 со значением активности радионуклидов от $5 \cdot 10^3$ до $10^4$ Бк (далее – источник с меньшей активностью радионуклидов) Эталоны единицы активности радионуклида $^{137}\text{Cs}$ , соответствующие требованиям к эталонам не ниже рабочих эталонов 2 разряда по ГОСТ 8.033-2023 со значением активности радионуклидов от $6 \cdot 10^4$ до $10^5$ Бк (далее – источник с большей активностью радионуклидов)	Источники радионуклидные фотонного излучения метрологического назначения закрытые ИМН-Г (рег. № 44591-10)  Источники фотонного излучения радионуклидные закрытые спектрометрические эталонные ОСГИ-3 (рег. № 46383-11)

Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.

## **6. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ**

6.1. При проведении поверки должны выполняться требования:

- Норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009);
- Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010);
- Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ и ПТБ-84);
- Инструкций по радиационной безопасности.

## **7. ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

7.1. При проведении внешнего осмотра устанавливается:

- соответствие комплектности поверяемого спектрометра требованиям раздела 5 Паспорта;
- наличие результатов последней поверки в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (при периодической поверке);
- наличие четких маркировочных надписей на спектрометре;
- отсутствие загрязнений, механических повреждений, влияющих на работу спектрометра.

7.2. Результаты внешнего осмотра считаются положительными, если выполняются вышеперечисленные требования.

## **8. ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

8.1. Перед проведением поверки спектрометр подготавливается к работе в соответствии с требованиями раздела 2 Руководства по эксплуатации.

8.2. Проводятся измерения температуры окружающего воздуха, атмосферного давления и относительной влажности воздуха в месте расположения спектрометра. Результаты измерений заносятся в рабочий журнал.

8.3. При проведении опробования необходимо с применением программного обеспечения (далее – ПО) «NewCoPra4X» убедиться, что происходит набор спектра излучения фона.

8.4. Результаты опробования считаются положительными, если проводится набор спектра излучения фона.



## **9. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

9.1. Проводится проверка соответствия следующих представленных идентификационных данных ПО «NewCoPra4X»:

- проверка наличия программного модуля ПО спектрометра;
- определение номера версии ПО.

### **9.2. Проверка наличия программного модуля ПО спектрометра.**

9.2.1. В каталоге C:\NewCoPra4X\ (в случае установки ПО на диск C) проверяется наличие файла newcopra4x.exe.

### **9.3. Определение номера версии программного обеспечения «NewCoPra4X».**

9.3.1. Определение номера версии производится посредством просмотра информации в левом верхнем углу окна ПО (рис.1).

9.3.2. Соответствие подтверждается сравнением версии программного модуля с указанным значением (диапазоном от 4.0 до 99.0) в описании типа СИ.

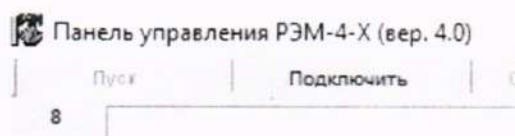


Рисунок 1 – проверка номера версии

9.3.3. Результат проверки программного обеспечения спектрометра считается положительным, если наименование, идентификационное наименование соответствуют данным, зафиксированным в описании типа, при этом номер версии находится в диапазоне от 4.0 до 99.0.

## **10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ**

10.1. Проверка диапазона энергий регистрируемого гамма-излучения и определение пределов допускаемой относительной погрешности характеристики преобразования (интегральной нелинейности)

10.1.1. Источник гамма-излучения с радионуклидом  $^{152}\text{Eu}$  размещается соосно с крышкой детектора, при этом расстояние от источника до крышки детектора подбирается исходя из необходимости создания загрузки спектрометрического тракта в пределах  $50 - 1500 \text{ c}^{-1}$ .



10.1.2. Выполняется регистрация спектра излучения радионуклида  $^{152}\text{Eu}$ . Регистрация спектра завершается после достижения в пике полного поглощения (далее – ППП) не менее 5000 импульсов. Значения энергий линий ППП соответствующих радионуклидов приведено в таблице 4.

Таблица 4 – перечень энергий линий радионуклидов.

№	Радионуклид	Энергия гамма-квантов ( $E_i$ ), кэВ	Квантовый выход, %
1	$^{152}\text{Eu}$	121,8	27,0
2	$^{232}\text{Th}$ ( $^{212}\text{Pb}$ )	238,6	43,6
3	$^{137}\text{Cs}$	661,7	85,04
4	$^{60}\text{Co}$	1173	99,85
5	$^{60}\text{Co}$	1332	99,98
6	$^{232}\text{Th}$ ( $^{208}\text{Tl}$ )	2614	35,8

10.1.3. В полученном спектре определяется номер канала  $n_i$  центроиды ППП радионуклида  $^{152}\text{Eu}$ .

10.1.4. Операции, представленные в п.п. 10.1.1 – 10.1.3, повторяются с применением источников гамма-излучения с радионуклидами  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{232}\text{Th}$ .

10.1.5. Характеристика преобразования спектрометра представляется в виде прямой линии  $n = a + b \cdot E$ . При этом, параметры  $a$  и  $b$  определяются по методу наименьших квадратов.

10.1.6. Для каждой центроиды пика с номером канала  $n_i$  и энергией  $E_i$  рассчитывается отклонение от прямой линии, описывающей характеристику преобразования спектрометра, по формуле (10.1):

$$\Delta E_i = E_i - \frac{n_i - a}{b} \quad (10.1)$$

10.1.7. Из полученных значений  $\Delta E_i$  выбирается максимальное по модулю и по формуле (10.2) рассчитывается значение интегральной нелинейности (ИНЛ):

$$\text{ИНЛ} = \frac{\Delta E_{\max}}{E_{\max}} \cdot 100, \quad (10.2)$$

где  $E_{\max}$  – наибольшее значение энергии гамма-квантов из перечня обрабатываемых пиков полного поглощения, равное 2614 кэВ.

10.1.8. Результаты операции поверки считаются положительными, если значение пределов допускаемой относительной погрешности характеристики преобразования не превышает  $\pm 1\%$ .

## 10.2. Проверка относительного энергетического разрешения линии 662 кэВ.

10.2.1. Источник гамма-излучения с радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$  размещается соосно с крышкой детектора, при этом расстояние от источника до крышки детектора подбирается исходя из необходимости создания загрузки спектрометрического тракта в пределах 50 – 1500 с<sup>-1</sup>.

10.2.2. Выполняется регистрация спектра излучения радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ . Регистрация спектра завершается после достижения в ППП не менее  $10^4$  импульсов.

10.2.3. Определяется ширина ППП линии 662 кэВ на её полувысоте  $\Delta_n$ , каналов.

10.2.4. Определяется положение центроиды ППП линии 662 кэВ  $n_c$ , каналов.

10.2.5. Рассчитывается относительное энергетическое разрешение  $\eta_{\text{отн}}$ , %, по формуле (10.3):

$$\eta_{\text{отн}} = \frac{\Delta_n}{n_c} \cdot 100, \quad (10.3)$$

10.2.6. Результаты операции поверки считаются положительными, если значения относительного энергетического разрешения линии 662 кэВ не превышают значений, приведенных в таблице 5.

Таблица 5 – требования к значениям относительного энергетического разрешения линии 662 кэВ.

Наименование характеристики	Значение
Относительное энергетическое разрешение линии 662 кэВ, %, не более	
- РЭМ-4-25 «Щуп»	15
- РЭМ-4-50	10
- РЭМ-4-76	12

10.3. Проверка диапазона измерений активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  и определение пределов допускаемой относительной погрешности измерений активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ .

10.3.1. Источник с меньшей активностью радионуклидов размещается в середине торцевой поверхности детектора.

10.3.2. Выполняется регистрация спектра излучения радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ . Регистрация спектра завершается после достижения в ППП линии 662 кэВ не менее  $10^4$  импульсов.

10.3.3. Определяются номера каналов, соответствующие границам ППП линии

662 кэВ.

10.3.4. Источник снимается с торца детектора.

10.3.5. Выполняется регистрация спектра фона в течение 3600 с. Набранный спектр сохраняется в памяти ПК.

10.3.6. Определяется скорость счета импульсов фона  $n_{\text{ф}}$  в каналах, соответствующих границам ППП линии 662 кэВ.

10.3.7. Источник с меньшей активностью радионуклидов размещается в середине торцевой поверхности детектора.

10.3.8. Выполняется регистрация спектра излучения радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ . Регистрация спектра завершается после достижения в ППП линии 662 кэВ не менее  $10^4$  импульсов.

10.3.9. С применением ПО определяется значение скорости счета импульсов  $n_{\text{н}}$ ,  $\text{с}^{-1}$ , в ППП линии 662 кэВ.

10.3.10. Источник с меньшей активностью радионуклидов заменяется на источник с большей активностью радионуклидов и размещается в середине торцевой поверхности детектора.

10.3.11. Выполняется регистрация спектра излучения радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ . Регистрация спектра завершается после достижения в ППП линии 662 кэВ не менее  $5 \cdot 10^4$  импульсов.

10.3.12. С применением ПО определяется значение скорости счета импульсов  $n_{\text{в}}$ ,  $\text{с}^{-1}$ , в ППП линии 662 кэВ.

10.3.13. Рассчитываются значения нижней границы диапазона измерений активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$   $A_{\text{нг}}$ , Бк, по формуле (10.4):

$$A_{\text{нг}} = 3 \cdot A_{\text{н}} \cdot \frac{n_{\text{ф}}}{n_{\text{н}}}, \quad (10.4)$$

где  $A_{\text{н}}$  – значение активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  источника с меньшей активностью радионуклидов на дату выполнения измерений.

10.3.14. Рассчитывается значение активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$   $A_{\text{и}}$ , Бк, источника с большей активностью радионуклидов по формуле (10.5):

$$A_{\text{и}} = A_{\text{н}} \cdot \frac{n_{\text{в}}}{n_{\text{н}}} \quad (10.5)$$

10.3.15. Рассчитывается отклонение измеренного значения активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  источника с большей активностью радионуклидов  $\Delta_{\text{с}}$ , %, от действительного значения активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  по формуле (10.6):



$$\Delta_C = \frac{|A_H - A_B|}{A_B} \cdot 100, \quad (10.6)$$

где  $A_B$  – значение активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  источника с большей активностью радионуклидов на дату выполнения измерений.

10.3.16. Рассчитываются значения относительного среднеквадратического отклонения  $S_H$  и  $S_B$  результатов определений скоростей счета импульсов от источников с меньшей и большей активностью радионуклидов, соответственно, по формулам (10.7) и (10.8):

$$S_H = \frac{1}{\sqrt{N_H}} \cdot 100, \quad (10.7)$$

$$S_B = \frac{1}{\sqrt{N_B}} \cdot 100, \quad (10.8)$$

где  $N_H$  и  $N_B$  – количество зарегистрированных импульсов от источника с меньшей и большей активностью радионуклидов, соответственно, в пике полного поглощения линии 662 кэВ.

10.3.17. Рассчитывается значение относительного среднеквадратического отклонения  $S$  для результатов определения скоростей счета импульсов по формуле (10.9):

$$S = \sqrt{S_H^2 + S_B^2} \quad (10.9)$$

10.3.18. Рассчитывается значение границ неисклученной систематической погрешности оценки активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  по формуле (10.10):

$$\theta_{\Sigma} = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\delta_H^2 + \delta_B^2 + \Delta_C^2} \quad (10.10)$$

где  $\delta_H$  и  $\delta_B$  – границы относительной погрешности измерений активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  источников с меньшей и большей активностью радионуклидов, соответственно.

10.3.19. Рассчитывается значение границ относительной погрешности измерений активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$   $\delta$ , %, при доверительной вероятности  $P = 0,95$  по формуле (10.11):

$$\delta = 2 \cdot \sqrt{S^2 + \frac{\theta_{\Sigma}^2}{3}} \quad (10.11)$$

10.3.20. Результаты операции поверки считаются положительными, если выполняются соотношения (10.12) и (10.13):

$$A_H \leq 5 \cdot 10^3 \text{ Бк} \quad (10.12)$$

$$\delta \leq \pm 30 \% \quad (10.13)$$

## 11. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1. Спектрометр признается годным, если в ходе поверки все результаты положительные.

11.2. Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

11.3. При положительных результатах поверки по заявлению владельца спектрометра или лица, предъявившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке, и (или) в паспорт спектрометра вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки.

11.4. Спектрометр, имеющий отрицательные результаты поверки, в обращение не допускается. По заявлению владельца спектрометра или лица, предъявившего его на поверку, на него выдается извещение о непригодности к применению с указанием причин забракования.

И.о. начальника НИО-4 ФГУП «ВНИИФТРИ»



О.А. Картавенко

Инженер 1 категории лаборатории № 420  
ФГУП «ВНИИФТРИ»



Д.А. Булдаков