

ний слишком большого размера (не менее сотни), особенно в случае, если измерения проводятся в лабораториях с различной точностью СИ. Обработка таких выборок требует много времени и вычислительных мощностей. И даже в этих условиях не гарантировано получение «конечной» выборки хотя бы из десяти «годных» величин.

2. Составляющие результата измерений рассматриваются как координаты многомерной случайной величины, и выборка производится по правилам работы с многомерными случайными величинами [2]. В результате требуется разработка и обоснование отдельных критериев исключения выбросов для каждой физической величины, и теряется унификация подхода к МЛС и ВЛК.

Чтобы уменьшить сложность при статистическом анализе результатов испытаний, предлагается использовать следующий алгоритм обработки результатов измерений связанных между собой составляющих величин на выбросы, который удобно рассмотреть на примере координат цветности:

1. По результатам измерений сформировать выборку координат цветности, в которой каждый результат измерения имеет две составляющие – координату цветности  $x$  и координату цветности  $y$ .

2. Рассчитать для каждого результата измерений координату цветности  $z$ , которая однозначно определяется из выражения (1)

$$z = 1 - x - y, \quad (1)$$

полученного с использованием спектральных зависимостей, и не является эмпирической (аппроксимированной) зависимостью, и не содер-

жит других неопределенностей, кроме тех, которые были при измерении  $x$  и  $y$  [3].

3. Оценить выборку координат цветности  $z$  на выбросы с помощью критериев Граббса и Кохрена. Эта оценка окажется положительной, если хотя бы в одной координате цветности из пары  $x$ ,  $y$  была слишком большая неопределенность.

4. Удалить из первоначальной выборки те пары  $x$  и  $y$ , которые соответствуют выбросам координаты цветности  $z$ .

5. Провести статистический анализ согласно предписаниям процедуры для одномерных случайных величин.

Данный подход позволяет не разрабатывать отдельные критерии оценки на выбросы для каждого составного результата измерений и не создавать слишком большие по объему выборки данных при статистическом анализе результатов измерений.

Недостаток данного алгоритма состоит в необходимости установления функциональной связи между составляющими величинами составных результатов измерений, что не позволяет применять к ним описанный подход.

#### Литература

1. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method : ISO 5725-2:2019. – Введ. 01.12.2019 // International Organization For Standardization [Electronic resource]. – 2019.

2. Практические рекомендации по валидации результатов и методов измерений / Савкова, Е. Н. [и др.] // Техническое нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве. – 2013. – № 2. – С. 12–17.

3. Джадд, Д. Цвет в науке и технике: пер. с англ. / Д. Джадд, Г. Вышецки ; под ред. Л. Ф. Артюшин. – Москва : Мир, 1978. – 592 с.

УДК 616.12-008.313.315-08-71; 620.1.05 (476)

### МЕТОДЫ И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ДЕФИБРИЛЯТОРОВ. МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ ДЕФИБРИЛЯТОРОВ

Сидоров К.А.

РУП «Белорусский государственный институт метрологии»  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Разработана методика проведения испытаний дефибрилляторов, обеспечивающая сокращение временных затрат и повышение точности измерения контролируемых параметров приборов. В ее основу положен принцип построения рациональной последовательности проведения испытаний с использованием современных аппаратных средств для измерения контролируемых параметров. Для разработки методики было изучено устройство дефибриллятора, проведен анализ технических характеристик прибора и методов испытаний.

**Ключевые слова:** дефибриллятор, импульс дефибрилляции, пиковые напряжения, импеданс.

**METHODS AND HARDWARE FOR TESTING DEFIBRILLATORS.  
DEFIBRILLATOR TEST PROCEDURE**  
Sidorov K.

*Belarussian state institute of metrology  
Minsk, Belarus*

**Abstract.** A methodology for testing defibrillators has been developed, it provides a reduction in time costs and an increases in the accuracy of measuring the controlled parameters of devices. It is based on the principle of constructing a rational sequence of testing using modern hardware for measuring the controlled parameters. To develop the methodology, the defibrillator device was studied, and the technical characteristics of the device and test methods were analysed.

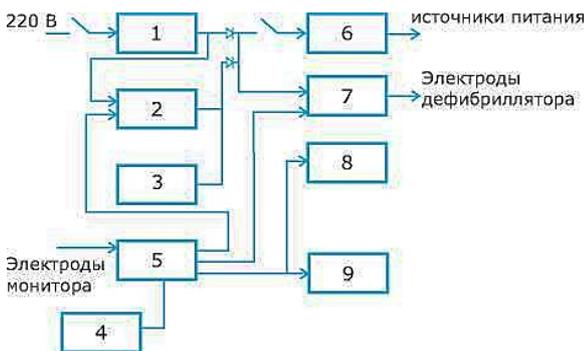
**Keywords:** defibrillator, defibrillation pulse, peak voltages, impedance.

Адрес для переписки: Сидоров К.А., Старовиленский тракт, 93, г. Минск 220053, Республика Беларусь  
e-mail: kirsidorov94@gmail.com

Дефибрилятор – прибор, использующийся в медицине для электроимпульсной терапии грубых нарушений сердечного ритма. Устройство генерирует короткий высоковольтный импульс, который вызывает полное сокращение миокарда. После полного сокращения сердечной мышцы существует вероятность восстановления нормального синусового ритма.

Структурная схема дефибрилятора приведена на рис. 1.

Преобразователь сетевой (ПС) (1) осуществляет прием напряжения сети 220 В и его преобразование в магистраль постоянного тока напряжением 17–18 В. Выходное напряжение ПС и встроенной батареи (3) объединяется на пассивной диодной сборке и подается как силовое питание на зарядное устройство накопительных конденсаторов (7), зарядное устройство батареи (2) и через переключатель ДКИ – на преобразователь напряжения типа DC-DC для формирования сети напряжений питания всех узлов дефибрилятора.



1 – преобразователь сетевой; 2 – зарядное устройство батареи; 3 – встроенная батарея; 4 – панель управления; 5 – устройство управления дефибрилятором; 6 – преобразователь DC-DC; 7 – зарядное устройство накопительных конденсаторов и высоковольтный коммутатор; 8 – дисплей; 9 – регистратор

Рисунок 1 – Структурная схема дефибрилятора

Устройство управления (5) выполнено с применением микроконтроллеров и предназначено для управления работой всех узлов дефибрилля-

тора. Команды управления на него поступают с передней панели (4) дефибрилятора.

Основные характеристики дефибрилятора.

Требуемая форма импульса дефибрилляции – бифазный усеченный экспоненциальный импульс с компенсацией параметров в зависимости от сопротивления нагрузки (рис. 2).

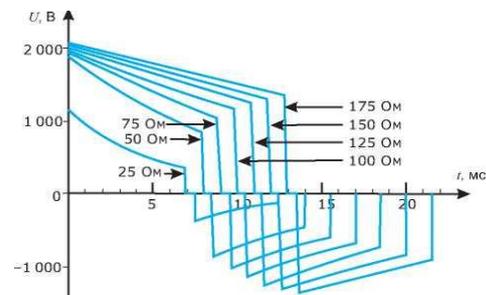


Рисунок 2 – График импульса дефибрилляции энергией 360 Дж при различной нагрузке

Дефибрилятор должен обеспечивать выдачу энергии в нагрузку в зависимости от установленной энергии и сопротивления нагрузки согласно данным, приведенным в табл. 1.

Таблица 1.

Установленная энергия, Дж	Энергия, отдаваемая в нагрузку, Дж							Допустимое отклонение
	Сопротивление нагрузки, Ом							
	25	50	75	100	125	150	175	
10	5	10	10	9	9	9	9	±3 Дж
25	12	25	25	24	22	21	20	±15 %
50	25	50	50	48	45	43	40	
100	50	100	100	97	95	93	90	
150	75	150	150	145	140	135	130	
200	100	200	200	190	185	175	170	
250	125	250	250	245	235	230	220	
300	150	300	300	290	280	270	260	
360	175	360	350	330	310	290	280	

Длительность первой фазы, паузы и второй фазы импульса дефибрилляции в зависимости от сопротивления нагрузки должна соответствовать параметрам, указанным в табл. 2, а пиковые напряжения первой и второй фаз импульса де-

фибрилляции в зависимости от сопротивления нагрузки и установленной энергии – параметрам, приведенным в табл. 3.

Таблица 2.

Длительность фаз импульса дефибрилляции							
Сопротивление нагрузки, Ом	25	50	75	100	125	150	175
I фаза, мс	7,0 ± 0,5	8,0 ± 0,5	9,0 ± 0,5	10,0 ± 0,5	11,0 ± 0,5	12,0 ± 0,5	13,0 ± 0,5
Пауза, мс	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1
II фаза, мс	5,0 ± 0,5	5,5 ± 0,5	6,0 ± 0,5	6,5 ± 0,5	7,0 ± 0,5	7,5 ± 0,5	8,0 ± 0,5

Таблица 3.

Установленная энергия, Дж	Фаза	Пиковое напряжение, В							Допустимое отклонение
		Сопротивление нагрузки, Ом							
		25	50	75	100	125	150	175	
10	I	215	335	370	375	378	380	385	±15 В
	II	60	150	200	220	230	245	250	
25	I	325	525	575	585	595	600	605	±4 %
	II	95	238	310	340	370	380	395	
50	I	455	740	805	825	835	845	850	±4 %
	II	135	335	435	480	520	545	560	
100	I	665	1075	1180	1200	1220	1230	1235	±4 %
	II	200	495	640	705	760	790	815	
150	I	810	1310	1430	1460	1480	1495	1500	±4 %
	II	245	605	780	860	925	965	990	
200	I	920	1490	1630	1670	1690	1700	1715	±4 %
	II	285	690	895	990	1060	1100	1130	
250	I	1045	1695	1855	1900	1925	1940	1950	±4 %
	II	330	790	1020	1130	1205	1260	1290	
300	I	1140	1840	2010	2055	2080	2100	2110	±4 %
	II	360	860	1110	1225	1305	1365	1400	
360	I	1190	1900	2070	2120	2160	2175	2180	±4 %
	II	375	890	1140	1260	1350	1410	1440	

По параметрам безопасности дефибрилляторы должны соответствовать требованиям СТБ ИЕС 60601-1 «Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности и требования к основным характеристикам» и ИЕС 60601-2-4 «Оборудование медицинское электрическое. Часть 2–4. Дополнительные требования к безопасности и основным характеристикам кардиодефибрилляторов».

Для контроля точности и измерений параметров дефибрилляторов в БелГИМ используется установка, разработанная в соответствии со стандартом ИЕС 60601-2-4. Доставленная энергия измеряется с помощью биомедицинского анализатора Seculife DF+ и анализатора электробезопасности Fluke (ESA 620), используемых для общих оценок электробезопасности при измерении тока утечки на пациента и дополнительного тока в цепи пациента.

При испытаниях оцениваются все параметры безопасности и производительности. В соответствии со стандартом ИЕС 60601-2-4 проверка

точности доставляемой энергии должна проходить при различных смоделированных импедансах (25 Ом, 50 Ом, 75 Ом, 100 Ом, 125 Ом, 150 Ом, 175 Ом).

Испытания выполнялись для максимальной энергии на выходе при трех различных нагрузках – 25, 50 и 100 Ом. Для предотвращения непреднамеренного прерывания в реальной аварийной ситуации необходимо, чтобы все процессы оценки выполнялись на основе режима работы от аккумулятора. Во всех дефибрилляторах было проведено несколько тестов безопасности в соответствии с общим стандартом для медицинского электрооборудования (ИЕС 60601-1).

Анализ точности измерений доставленной энергии показал, что количество полученных результатов во многих единицах являлось критическим и имело меньшее значение по сравнению со стандартными ограничениями.

Для всех дефибрилляторов были проведены общие оценки электробезопасности для измерения тока утечки на пациента и дополнительного тока в цепи пациента. В некоторых случаях величины токов утечки превышали стандартные ограничения.

Полученные результаты указывали на необходимость разработки новых правил периодической проверки производительности и программ контроля качества дефибрилляторов.

Методика проведения испытаний дефибрилляторов.

При разработке методики были использованы как существующие методы, так и решения, связанные с вводом в эксплуатацию современных средств измерений, позволяющие проводить измерения эксплуатационных свойств в автоматическом режиме, что ранее было неосуществимо.

Разработанная методика включает проверку:

- упаковки и маркировки;
- требований электробезопасности;
- электромагнитной совместимости;
- функций в нормальных климатических условиях.

А также основных параметров:

- при пониженном и повышенном напряжении питания;
- при работе от аккумулятора;
- в условиях эксплуатации при повышенной и пониженной температуре;
- в условиях эксплуатации после механических воздействий;
- в условиях транспортирования при повышенной и пониженной температуре;
- в условиях транспортирования при воздействии повышенной влажности;
- в условиях транспортирования после механических воздействий.

Исходя из полученных результатов проверок, делается заключение о соответствии/несоответствии дефибриллятора.

**Заключение.** Проведен анализ основных технических характеристик дефибрилляторов, методов испытаний и аппаратных средств для их проведения. Показано, что совершенствование методики испытаний дефибрилляторов связано с изменением последовательности их проведения и с применением современных аппа-

ратных средств для измерений контролируемых параметров.

Разработанная методика позволяет с более высокой точностью определять контролируемые параметры дефибрилляторов и сокращает время испытаний, тем самым повышая производительность труда.

УДК 001.893:65.011.56

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫБОРА МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Соколовский С.С., Гома М.А., Янчиленко А.С.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Рассматриваются квалиметрические модели, позволяющие получать комплексные оценки качества конкурирующих вариантов методик выполнения измерений.

**Ключевые слова:** методики выполнения измерений, квалиметрические модели, комплексные оценки качества.

## USING QUALIMETRIC MODELING TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF SELECTION OF MEASUREMENT TECHNIQUES

Sokolovsky S., Goma M., Janchilenko A.

*Belarusian national technical university  
Minsk, Belarus*

**Abstract.** Qualimetric models are considered that make it possible to obtain comprehensive assessments of the quality of competing options for measurement techniques.

**Key words:** measurement techniques, qualimetric models, comprehensive quality assessments.

*Адрес для переписки: Соколовский С.С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: sokolovski@bntu.by*

При выборе методики выполнения измерений (МВИ) для решения конкретной измерительной задачи проектировщику, как правило, приходится сталкиваться с необходимостью выделения наилучшего варианта из некоторого набора конкурирующих вариантов МВИ. Все эти варианты по своим точностным характеристикам могут считаться равноценными с точки зрения решаемой измерительной задачи, но будут отличаться по некоторым другим свойствам, важным с точки зрения обеспечения требуемого качества измерений. В такой ситуации для выбора наиболее эффективного варианта МВИ предлагается проводить комплексное оценивание их качества по специальной методике.

Первым и наиболее важным этапом такого оценивания является моделирование качества МВИ в виде иерархической структуры свойств, определяющих их качество. С учетом специфики оцениваемого объекта, т.е. МВИ, в результате его системного анализа нами был разработан следующий вариант модели его качества в виде иерархической структуры определяющих его свойств, представленный на рис. 1.

Предлагаемая структура качества МВИ включает 3 уровня дифференциации свойств. Исходя из представленной структуры можно сделать вывод, что качество МВИ в целом пред-

ставляет собой не простой набор свойств, а некоторую систему свойств с существующими взаимосвязями между ними. Это исходный вариант такой структуры, который может корректироваться в зависимости от специфики измерительной задачи. Такая коррекция может производиться как в направлении дополнения этой структуры некоторыми важными с точки зрения решаемой измерительной задачи свойствами, так и в направлении ее урезания с исключением несущественных свойств. Кроме этого, очевидно, что для различных измерительных задач свойства, включенные в такую иерархию, могут иметь различную значимость с точки зрения качества МВИ в целом.

Для получения комплексной оценки качества каждого конкурирующего варианта МВИ в принципе можно было бы использовать комплексный метод оценки качества объекта в его классической реализации, т.е. произвести оценивание или измерение отдельных выделенных свойств исходя из степени их интенсивности или выраженности, произвести оценивание весомости этих свойств с использованием известных экспертных методов и затем произвести комплексирование полученных оценок, используя при этом, как наиболее простой вариант, одну из моделей средневзвешенных обобщенных показателей качества.