ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 13091-2— 2008

Вибрация

ПОРОГИ ВИБРОТАКТИЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИСФУНКЦИЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Часть 2

Анализ и интерпретация результатов измерений на кончиках пальцев рук

ISO 13091-2:2003
Mechanical vibration — Vibrotactile perception thresholds for the assessment of nerve disfunction — Part 2: Analysis and interpretation of measurements at the fingertips (IDT)

Издание официальное

БЗ 10—2008/352

Москва
Стандартинформ
2009

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») на основе собственного аутентичного перевода стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация и удар»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 декабря 2008 г. № 414-ст

4 Настоящий стандарт является идентичным международному стандарту ИСО 13091-2:2003 «Вибрация. Пороги вибротактильной чувствительности для оценки дисфункций нервной системы. Часть 2. Анализ и интерпретация результатов измерений на кончиках пальцев рук» (ISO 13091-2:2003 «Mechanical vibration — Vibrotactile perception thresholds for the assessment of nerve disfunction — Part 2: Analysis and interpretation of measurements at the fingertips».

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении С

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2009

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения, обозначения и сокращения 1
4 Обработка результатов измерений порогов вибротактильной чувствительности 3
5 Средства измерений 5
6 Интерпретация результатов измерений порогов тактильной чувствительности и смещений порогов 8
Приложение А (рекомендуемое) Пороги вибротактильной чувствительности здоровых субъектов . 10
Приложение В (справочное) Оценка изменений порогов вибротактильной чувствительности 13
Приложение С (справочное) Сведения о соответствии национальных стандартов Российской Федерации ссылочным международным стандартам 17
Библиография 18

Введение

Раннее обнаружение периферических невропатий верхних конечностей, которые часто выражаются в виде изменения тактильных функций вследствие изменения активности механорецепторов, имеет большое значение, в том числе для профилактики профессиональных заболеваний работников ручного труда. Подобные невропатии могут возникать в результате имеющегося заболевания либо вследствие воздействия химических или физических нейротоксичных факторов. При правильном выборе условий измерений (см. ИСО 13091-1) можно разделить ответы от медленноадаптирующихся механорецепторов (SAI) и ответы от быстроадаптирующихся механорецепторов (FAI и FAII), используя для этого разные частоты вибротактильного воздействия.

Настоящий стандарт определяет порядок проведения анализа и интерпретации значений вибротактильных порогов на кончиках пальцев рук, измеренных в соответствии с ИСО 13091-1. Методы описания статистически значимых изменений в значении порога вибротактильной чувствительности распространяются как на однократное, так и на повторные измерения.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

ПОРОГИ ВИБРОТАКТИЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИСФУНКЦИЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Часть 2

Анализ и интерпретация результатов измерений на кончиках пальцев рук

Vibration. Vibrotactile perception thresholds for the assessment of nerve disfunction. Part 2. Analysis and interpretation of measurements at the fingertips

Дата введения — 2009—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает методы анализа и интерпретации результатов измерений порогов вибротактильной чувствительности и их изменений. Приведен способ определения статистически значимых изменений порогов вибротактильной чувствительности.

Настоящая часть распространяется на результаты измерений порогов вибротактильной чувствительности на кончиках пальцев рук, проведенных в соответствии с ИСО 13091-1.

Значения порогов вибротактильной чувствительности здоровых субъектов, полученные в соответствии с ИСО 13091-1, приведены в приложении А.

Интерпретация выявленных изменений порогов вибротактильной чувствительности рассмотрена в приложении В.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ИСО 2041:1990 Вибрация и удар. Термины и определения

ИСО 5805:1997 Вибрация и удар. Воздействие на человека. Термины и определения

ИСО 13091-1:2001 Вибрация. Пороги вибротактильной чувствительности для оценки нервных дисфункций. Часть 1. Методы измерений на кончиках пальцев рук

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 2041, ИСО 5805 и ИСО 13091-1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **эквивалентная частота** (equivalent frequency): Частота, выбранная в качестве репрезентативной частоты измерений в том случае, когда в процессе измерений порога вибротактильной чувствительности частота изменяется во времени.

3.1.2 **здоровый субъект** (healthy person): Субъект, который — по оценке квалифицированного медицинского персонала, полученной на основе результатов физических тестов и других клинических объективных осмотров, необходимых для подтверждения диагноза, — не имеет симптомов заболева-

Издание официальное

ний периферической нервной системы и который не подвержен регулярному воздействию нейротоксичных факторов или вибрации.

3.1.3 **группа населения** (population group): Группа людей, объединенных одним или несколькими общими признаками.

Примечание — В качестве объединяющих признаков могут выступать, например, географическое положение, место проживания, возраст, пол, особенности питания.

3.1.4 **механорецептор** (mechanoreceptor): Чувствительное нервное окончание, преобразующее механическое воздействие на кожу (деформацию) в нервные импульсы.

3.1.5 **порог вибротактильной чувствительности специфических рецепторов** (receptor-specific vibrotactile perception threshold): Порог вибротактильной чувствительности при восприятии стимулов одной популяцией механорецепторов в точке приложения стимула.

3.1.6 **порог вибротактильной чувствительности** (vibrotactile perception threshold): Уровень ускорения поверхности кожи, при котором наблюдается 50 % положительных ответов на психометрической кривой, соответствующих обнаружению субъектом предъявленных стимулов чистого тона.

3.1.7 **базовый порог вибротактильной чувствительности** (baseline vibrotactile perception threshold): Начальный порог вибротактильной чувствительности, с которым сравнивают результаты последующих измерений.

3.1.8 **референтный порог вибротактильной чувствительности** (reference vibrotactile perception threshold): Порог вибротактильной чувствительности, определенный для здоровых субъектов.

3.1.9 **смещение порога** (threshold shift): Стойкое (не преходящее со временем) изменение порога вибротактильной чувствительности по сравнению с изначально установленным базовым значением.

3.1.10 **референтное смещение порога** (reference threshold shift): Стойкое смещение порога вибротактильной чувствительности относительно референтного порога вибротактильной чувствительности для фиксированной или эквивалентной частоты.

3.1.11 **относительное смещение порога** (relative threshold shift): Стойкое смещение порога вибротактильной чувствительности относительно порога вибротактильной чувствительности, полученного по результатам предшествующих измерений для того же субъекта, тем же методом измерений, на том же пальце и для той же частоты (эквивалентной частоты).

3.1.12 **алгоритм психофизических измерений** (psychophysical algorithm): Способ измерений, в процессе которых субъекту предъявляют физический стимул для выявления одного или нескольких сенсорных ответов, таких как восприятие присутствия стимула или характера внешнего воздействия (движения кожи).

3.1.13 **метод границ** (up-down algorithm): Алгоритм психофизических измерений, позволяющий определить два порога чувствительности (для воздействий нарастающей и спадающей интенсивности) посредством предъявления субъекту последовательности кратковременных стимулов меняющейся интенсивности.

Примечание — Обычно этот метод состоит в приложении последовательности стимулов постепенно нарастающей интенсивности до тех пор, пока субъект не подаст знак о начале ощущения воздействия (порог нарастающей интенсивности воздействия). После этого интенсивность стимулов уменьшают до тех пор, пока субъект не подаст знак о том, что воздействие им более не ощущается (порог спадающей интенсивности воздействия).

3.1.14 **метод фон Бекеши** (von Békésy algorithm): Алгоритм психофизических измерений, позволяющий определить два порога чувствительности (для воздействий нарастающей и спадающей интенсивности) посредством предъявления субъекту непрерывного стимула изменяющейся интенсивности, которая часто сопровождается изменением частоты (скользящий тон).

3.1.15 **прогностическая ценность** (predictive value): Достоверность предсказания заболевания по результатам объективного тестирования ряда свойств или функций человеческого организма.

3.1.16 **прогностическая ценность положительных результатов** (positive predictive value): Доля (процентное отношение) лиц в группе населения, для которых было получено правильное предсказание возникновения болезни (симптомов заболевания) по положительным результатам объективных тестов.

3.1.17 **прогностическая ценность отрицательных результатов** (negative predictive value): Доля (процентное отношение) лиц в группе населения, для которых было получено правильное предсказание отсутствия болезни (симптомов заболевания) по отрицательным результатам объективных тестов.

3.1.18 **корреляция** (association): Статистическая мера связи наблюдения каких-либо свойств (функций) человеческого организма с присутствием других свойств (функций).

3.1.19 **психометрическая кривая** (psychometric function): Функция, выражающая зависимость доли (или процента) положительных ответов субъектов на предъявленные стимулы от физических параметров стимула.

3.1.20 **показатель чувствительности** (sensibility index): Отношение обнаруженного смещения порогов от базового значения 150 дБ к такому же показателю здоровых субъектов того же возраста, от того же базового значения, просуммированного для каждой частоты измерения или эквивалентной частоты.

Примечание — Повышение порога вибротактильной чувствительности, ассоциирующееся с понижением остроты восприятия, приводит к уменьшению показателя чувствительности, который для здоровых субъектов равен единице.

3.1.21 **тактограмма** (tactogram): Графическое изображение зависимости смещения порога от частоты.

3.1.22 **толкатель** (probe): Устройство для передачи внешних двигательных (колебательных) стимулов на поверхность кожи.

3.1.23 **подставка** (surround): Неподвижная твердая и ровная поверхность, на которой расположены кончики пальцев субъекта, с отверстиями, через которое кончик пальца контактирует с толкателем.

3.2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте использованы следующие обозначения и сокращения:

FAI — быстроадаптирующиеся механорецепторы типа I;

FAII — быстроадаптирующиеся механорецепторы типа II;

N — число субъектов;

N_F — число пальцев;

p — вероятность;

SAI — медленноадаптирующиеся механорецепторы типа I;

$s(f_j)$ — Гауссовское распределение параметра для $T(f_j)_{\text{ref}}$;

$T(f_j)_{\text{base}}$ — базовый порог вибротактильной чувствительности на частоте f_j;

$T(f_j)_i$ — i-й порог вибротактильной чувствительности на частоте f_j;

$T(f_j)_{\text{M}}$ — средний порог вибротактильной чувствительности на частоте f_j;

$T(f_j)_{\text{obs}}$ — наблюдаемый порог вибротактильной чувствительности на частоте f_j;

$T(f_j)_{\text{ref}}$ — референтный порог вибротактильной чувствительности на частоте f_j;

$T(f_j)_{\text{ref, M}}$ — средний референтный порог вибротактильной чувствительности на частоте f_j;

V — стандартное отклонение результатов измерений;

VPT — порог вибротактильной чувствительности;

$\Delta T(f_j)_{\text{ref}}$ — референтное смещение порога на частоте f_j;

$\Delta T(f_j)_{\text{ref}, i}$ — i-е референтное смещение порога на частоте f_j;

$\Delta T(f_j)_{\text{ref, M}}$ — среднее референтное смещение порога на частоте f_j;

$\Delta T(f_j)_{\text{rel}}$ — относительное смещение порога на частоте f_j;

$\Delta T(f_j)_{\text{rel}, i}$ — i-е относительное смещение порога на частоте f_j;

$\Delta T(f_j)_{\text{rel, M}}$ — среднее относительное смещение порога на частоте f_j.

Примечание — Символы, использующие заглавное T, относятся к значениям порогов, выраженных в децибелах, дБ, относительно опорного значения 10^{-6} м/с^2. Те же самые значения порогов, выраженные в метрах на секунду в квадрате, м/с^2, обозначают через строчное t.

4 Обработка результатов измерений порогов вибротактильной чувствительности

4.1 Общие положения

Представление, анализ и интерпретация порогов вибротактильной чувствительности — по ИСО 13091-1, раздел 7. Порог вибротактильной чувствительности субъекта обычно измеряют одно-

кратно, но для интерпретации результатов измерений необходимо знать, как они могут изменяться при повторных измерениях (например выполненных в другие дни).

В настоящем стандарте рассмотрены два типовых случая. Если в течение нескольких дней на том же самом пальце субъекта проводят повторные измерения порогов вибротактильной чувствительности субъекта, то разброс относительно выборочного среднего порога вибротактильной чувствительности, выраженного в децибелах, определяют через стандартное отклонение, рассчитанное по измеренным значениям вибротактильной чувствительности (в децибелах). Другой вариант, используемый в том случае, когда определить стандартное отклонение по результатам повторных измерений невозможно (т. е. проведено только одно измерение), — оценить разброс по неопределенности, присущей методу измерений. Эту неопределенность получают в результате повторных измерений, проведенных данным методом среди здоровых субъектов.

4.2 Выборочное среднее

Если проведены повторные измерения порога вибротактильной чувствительности на заданной частоте стимула (эквивалентной частоте) f_j согласно требованиям ИСО 13091-1, тогда средний порог, в децибелах, вычисляют как среднее арифметическое измеренных значений порогов, выраженных в децибелах, дБ (относительно опорного значения 10^{-6} м/с^2):

$$T(f_j)_{\text{M}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} T(f_j)_i. \qquad (1)$$

Примечание — Среднее значение порога вибротактильной чувствительности, определенное по формуле (1) через значения величин, выраженные в децибелах, дБ, эквивалентно среднегеометрическому значению результатов измерений тех же величин, выраженных в метрах на секунду в квадрате, м/с^2.

4.3 Выборочная дисперсия

В случае проведения ряда независимых (например, в разные дни) измерений порога вибротактильной чувствительности на одном и том же пальце руки субъекта можно рассчитать характеристику разброса результатов измерений — выборочное стандартное отклонение V от среднего порога, выражаемое в децибелах. Если значения порогов вибротактильной чувствительности $T(f_j)_i$, полученные в результате повторных измерений на заданной частоте (эквивалентной частоте) f_j предъявления стимула, выражены в децибелах, дБ (относительно опорного значения 10^{-6} м/с^2), то

$$V = \left[\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(T(f_j)_i - T(f_j)_M)^2\right]^{1/2}, \qquad (2)$$

где $T(f_j)_{\text{M}}$ — усредненное по n измерениям значение порога вибротактильной чувствительности в децибелах (относительно опорного значения 10^{-6} м/с^2).

Если рассчитать стандартное отклонение по результатам повторных измерений невозможно (например, для данного субъекта проведено только одно измерение порога вибротактильной чувствительности), то в качестве оценки этой характеристики берут стандартное отклонение, присущее данной методике измерений. Стандартное отклонение для методики измерений получают на основе измерений по данной методике порогов вибротактильной чувствительности у здоровых субъектов. Для расчета стандартного отклонения необходимо выполнить не менее 10 независимых измерений (например, в 10 разных дней). Измерения следует выполнять в соответствии с требованиями ИСО 13091-1. Стандартное отклонение, в децибелах, вычисляют по формуле (2), используя результаты измерений порогов вибротактильной чувствительности, в децибелах среднеарифметическое стандартных отклонений, рассчитанных, по крайней мере, для трех здоровых субъектов, применяют в качестве оценки порога вибротактильной чувствительности на данной частоте (эквивалентной частоте) при интерпретации результатов измерений для конкретного субъекта.

Обычные гормональные изменения во время менструального цикла у женщин приводят к смещениям значений порогов, полученных от FAII, до 20 дБ. При оценке разброса результатов измерений порогов вибротактильной чувствительности женщин для FAII (т. е. на частотах 100, 125 и 160 Гц) указанную цикличность следует принимать во внимание. Смещение порога происходит за несколько дней до и через несколько дней после овуляции.

4.4 Достоверность измерений

В некоторых ситуациях исследователем может быть поставлена под сомнение достоверность результатов измерений. Так в ИСО 13091-1 указано, что к ошибочным заключениям ведет проведение измерений на поврежденных участках кожи.

В этом случае для анализа и правильной интерпретации результатов измерений порогов вибротактильной чувствительности необходимо получение дополнительной информации. В частности, следует рассмотреть возможность повышения достоверности результатов посредством проведения новой серии измерений в соответствии с требованиями ИСО 13091-1. Результаты этой новой серии измерений должны быть обработаны в соответствии с настоящим стандартом.

Примечание — Если для одного участка измерений пороги вибротактильной чувствительности определяют на двух и более частотах (эквивалентных частотах), возбуждающих одну и ту же популяцию механорецепторов, то для подтверждения достоверности измерений может быть проверена согласованность смещений порога для разных популяций механорецепторов (см. 5.6).

4.5 Достоверность метрологических характеристик метода

В некоторых ситуациях у исследователя могут появиться основания полагать, что неопределенность, приписанная данной методике измерений, не будет адекватно описывать разброс результатов измерений для конкретного субъекта. Таким основанием может быть, например, несогласованность полученных значений порогов при нарастающей и спадающей интенсивности стимулов (см. ИСО 13091-1, пункт 6.3) или другая подобная информация.

В этом случае проведение анализа и интерпретации порогов вибротактильной чувствительности методами, установленными настоящим стандартом, возможно только после определения характеристики разброса, присущей конкретному субъекту исследований. Эта характеристика может быть определена проведением повторных измерений для данного субъекта в соответствии с 4.3.

5 Средства измерений

5.1 Общие положения

Для правильной интерпретации полученных значений порогов вибротактильной чувствительности вычисляют смещение порога относительно некоторого установленного значения. Эти вычисления должны быть проведены для каждой частоты (эквивалентной частоты) и каждого пальца, для которого были получены значения порогов вибротактильной чувствительности согласно разделу 4.

5.2 Относительное смещение порога

Относительное смещение порога вычисляют как разность между двумя значениями порогов вибротактильной чувствительности, выраженными в децибелах, дБ, (относительно опорного значения 10^{-6} м/с^2) или как отношение этих же величин, выраженных в метрах на секунду в квадрате, м/с^2, из которых первая величина является измеренным порогом вибротактильной чувствительности, а вторая — базовый порог вибротактильной чувствительности. Обе эти величины должны быть получены для одного и того же пальца субъекта, одним и тем же методом измерений, на одной и той же частоте (эквивалентной частоте). Относительное смещение порога $\Delta T(f_j)_{\text{rel}}$, в децибелах, вычисляют для каждой j-й частоты (эквивалентной частоты) по формуле

$$\Delta T(f_j)_{\text{rel}} = T(f_j)_{\text{obs}} - T(f_j)_{\text{base}}, \quad (3)$$

где оба члена в правой части также должны быть выражены в децибелах (относительно опорного значения 10^{-6} м/с^2).

Формулу (3) можно преобразовать, выразив $T(f_i)_{\text{rel}}$ через значения порогов, выраженных в метрах на секунду в квадрате, м/с^2:

$$\Delta T(f_j)_{\text{rel}} = 20\lg \left\lfloor t(f_j)_{\text{obs}} / t(f_j)_{\text{base}} \right\rfloor. \quad (4)$$

Примечание — Вычисление относительного смещения порога позволяет выявить изменения остроты восприятия тактильных стимулов субъектом, например, если известно, что в данный момент у него имеет место патологический или, наоборот, восстановительный процесс. При этом за базовый порог вибротактильной чувствительности обычно принимают первое значение измерения данной величины для данного субъекта.

5.3 Референтное смещение порога

Референтное смещение порога вычисляют как разность между измеренным и референтным значениями порога вибротактильной чувствительности, выраженными в децибелах, дБ, (относительно опорного значения 10^{-6} м/с^2), или отношение этих двух величин, выраженных в метрах в секунду в квадрате, м/с^2. Референтное смещение порога $\Delta T(f_j)_{\text{rel}}$, в децибелах, вычисляют для каждой j-й частоты (эквивалентной частоты) по формуле

$$\Delta T(f_j)_{ref} = T(f_j)_{obs} - T(f_j)_{ref}, \quad (5)$$

где оба члена в правой части также должны быть выражены в децибелах, дБ, (относительно опорного значения 10^{-6} м/с^2).

Формулу (5) можно преобразовать, выразив $\Delta T(f_j)_{ref}$ через значения порогов, выраженных в метрах на секунду в квадрате, м/с^2:

$$\Delta T(f_j)_{ref} = 20\lg \lfloor t(f_j)_{obs}/t(f_j)_{ref} \rfloor. \quad (6)$$

Примечание — Вычисление референтного смещения порога способствует выявлению тактильной дисфункции, которая может быть следствием повреждения механорецепторов или нервной проводимости. Существует корреляция между референтным смещением порога и проявлением симптоматики. Референтное смещение порога может быть также обусловлено невропатией верхних конечностей.

5.4 Средние смещения порогов

В случае повторных измерений смещений порога для заданной частоты (эквивалентной частоты), если есть основания полагать, что измеряемая величина является стабильной, следует вычислять среднеарифметические значения относительного и референтного смещений порогов, выраженные в децибелах. Среднее относительное смещение порога для частоты f_j определяют по формуле

$$T(f_j)_{rel,\,M} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \Delta T(f_j)_{rel,\,i}, \quad (7)$$

а среднее референтное смещение порога для частоты f_j определяют по формуле

$$\Delta T(f_j)_{ref,\,M} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \Delta T(f_j)_{ref,\,i}. \quad (8)$$

5.5 Тактограмма

Тактограмма представляет собой график в осях порога вибротактильной чувствительности (ось ординат) и частоты или эквивалентной частоты (ось абсцисс) с логарифмическими шкалами координат (см. рисунок 1). Диапазон изменений смещения порога от минус 20 до 60 дБ. На графике могут быть указаны области частот, соответствующие возбуждению разных популяций механорецепторов.

Примечание 1 — Диапазон частот измерения порогов вибротактильной чувствительности, определенный ИСО 13091-1, охватывает области действия механорецепторов SAI, FAI и FAII, указанных в ИСО 13091-1, таблица 3.

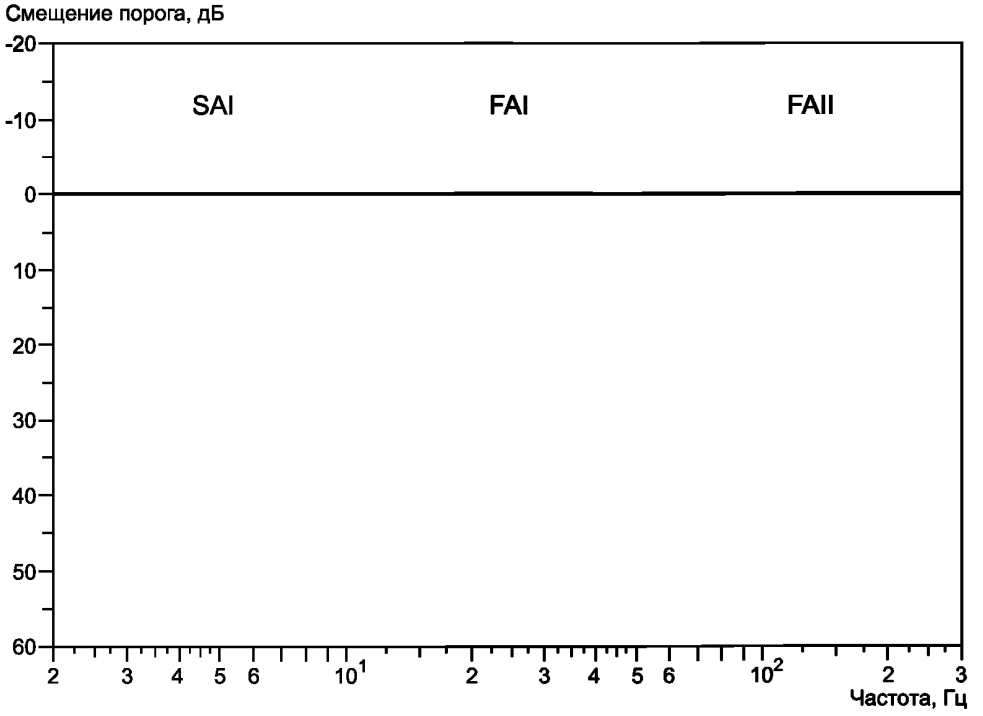

Рисунок 1 — Форма для построения тактограммы

Тактограмма может быть построена для отдельных пальцев руки, для разных рук, субъектов или групп субъектов. По оси ординат могут быть отложены относительные или референтные смещения порогов. Значения смещения порога, отложенные для разных частот (эквивалентных частот), могут быть соединены отрезками прямых линий.

Если тактограмму строят для всех пальцев руки (рук) субъекта, то смещения порога для разных пальцев должны обозначаться разными значками. Смещения порога для пальцев правой руки отмечают кружочками, а для левой — квадратиками.

Примечание 2 — Может оказаться удобным отмечать каждый палец руки соответствующей цифрой в значке (кружочке или квадратике) или разным цветом. При обозначении цифрами пальцам руки присваивают следующие номера:

- 1: указательный палец;
- 2: средний палец;
- 3: безымянный палец;
- 4: мизинец;
- 5: большой палец.

5.6 Согласованность смещения порогов на всем диапазоне частот

Если исследование порога вибротактильной чувствительности проводят на одном и том же участке кожи на нескольких частотах (эквивалентных частотах), возбуждающих определенную популяцию механорецепторов в соответствии с ИСО 13091-1, можно проверить согласованность полученных значений относительных или референтных смещений порога на разных частотах (эквивалентных частотах). Согласованность результатов характеризует разность результатов измерений, в децибелах, на частотах, соответствующих возбуждению одной популяции механорецепторов (см. ИСО 13091-1, таблица 3).

Согласованность может считаться нарушенной в тех случаях, когда измерения на данном участке пальца показывают выход значений порогов вибротактильной чувствительности за пределы области, соответствующей разбросу значений этих величин для здоровых субъектов (см. 6.5) для одной и той же популяции механорецепторов. В этом случае можно предположить, что на некоторых частотах, обычно связанных с активностью данной популяции, дополнительный вклад вносит активность механорецепторов другой популяции.

Примечание — Анализ согласованности порогов для механорецепторов разных популяций, определенных в соответствии с ИСО 13091-1, позволяет выявить индивидуальные отклонения в реакции субъекта. Смещения порогов на частотах (эквивалентных частотах) одной популяции механорецепторов, для которых эти отклонения не проявляются, будут идентичны.

5.7 Среднее смещение порога по популяции механорецепторов

Если исследование порога вибротактильной чувствительности исследуют на одном участке кожи на нескольких частотах (эквивалентных частотах), возбуждающих определенную популяцию механорецепторов в соответствии с ИСО 13091-1, можно получить значения относительного или референтного смещения порога, усредненного по механорецепторам данной популяции. Среднее смещение порога по популяции механорецепторов определяют как среднее арифметическое значение относительных или референтных смещений порога, в децибелах, по всем частотам (эквивалентным частотам), соответствующим данной популяции. Перечень частот измерений — по ИСО 13091-1, таблица 3. Среднее смещение порога по популяции механорецепторов также должно быть выражено в децибелах.

Среднее относительное смещение порога по популяции механорецепторов определяют по формуле

$$\Delta T(f_j)_{\text{rel, M}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} \Delta T(f_j)_{\text{rel}}, \tag{9}$$

где суммирование осуществляют по m частотам (эквивалентным частотам), соответствующим данной популяции механорецепторов.

Среднее референтное смещение порога по популяции механорецепторов определяют по формуле

$$\Delta T(f_j)_{\text{ref, M}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} \Delta T(f_j)_{\text{ref}}, \tag{10}$$

где суммирование осуществляют по *m* частотам (эквивалентным частотам), соответствующим данной популяции механорецепторов.

К расчетам по формулам (9) и (10) следует подходить с осторожностью, когда измерения на данном участке пальца показывают выход значений порогов вибротактильной чувствительности за пределы области, соответствующей разбросу значений этих величин для здоровых субъектов (см. 6.5), только для какой-то одной популяции механорецепторов. В этом случае можно предположить, что на некоторых частотах, обычно связанных с данной популяцией, возбуждению подверглись механорецепторы другой популяции.

Примечание — Вычисление средних значений относительного и референтного смещений порога позволяет выявить небольшие изменения тактильной остроты восприятия.

6 Интерпретация результатов измерений порогов тактильной чувствительности и смещений порогов

6.1 Общие положения

Значения порогов вибротактильной чувствительности и смещения порогов дают информацию о функционировании периферических сенсорных нервных окончаний в пальцах рук, кистях либо предплечьях. Изменения порогов могут быть представлены несколькими способами, как показано в 6.2 — 6.5.

6.2 Погрешность измерений и статистическая значимость результатов измерений порогов вибротактильной чувствительности

Если порог вибротактильной чувствительности на кончиках пальцев рук определяют в серии повторных измерений согласно ИСО 13091-1, то погрешность измерений среднего порога вибротактильной чувствительности, в децибелах, выражают через стандартное отклонение по формуле (2).

Если рассчитать стандартное отклонение по результатам повторных измерений невозможно (например, для данного субъекта проведено только одно измерение порога вибротактильной чувствительности), то в качестве оценки этой характеристики берут стандартное отклонение, приписанное данному методу измерений (см. 4.3). Данную величину, выраженную в децибелах, дБ, используют для статистического анализа результатов измерений порогов вибротактильной чувствительности.

6.3 Погрешность измерений и статистическая значимость результатов измерений относительных смещений порога

Если относительное смещение порога определяют в серии повторных измерений, то погрешность измерений среднего относительного смещения порога, в децибелах, выражают через стандартное отклонение результатов измерений относительных смещений порога, в децибелах.

При наличии только двух измерений порога вибротактильной чувствительности, позволяющих получить одно значение относительного смещения порога, в качестве оценки стандартного отклонения берут увеличенное в 1,414 раза стандартное отклонение метода измерений по 4.3. Данную величину, выраженную в децибелах, дБ, используют для статистического анализа относительных смещений порога.

6.4 Пороги вибротактильной чувствительности здоровых субъектов

Часто возникает необходимость сравнить порог вибротактильной чувствительности конкретного субъекта с аналогичным показателем референтной группы населения, состоящей из здоровых субъектов. Значения порогов вибротактильной чувствительности здоровых субъектов в возрасте 30 лет приведены в приложении А. Эти значения выражены через перцентили уровней 2,5; 15; 50 (медиана[1]); 85 и 97,5 для группы населения на каждой частоте (эквивалентной частоте) предъявления стимула по ИСО 13091-1. Если порог вибротактильной чувствительности выражен в децибелах, то его распределение по группе населения может быть аппроксимировано Гауссовским законом.

Данные, приведенные в приложении А, можно использовать для интерпретации порогов вибротактильной чувствительности, измеренных в соответствии с ИСО 13091-1. Значения, соответствующие

[1] Здесь и далее в оригинале международного стандарта ИСО 13091-2:2003 перцентиль уровня 50 ошибочно назван средним значением. Среднее значение совпадает с медианой только для распределения симметричной формы (например, гауссова), к которым не относится, например, распределение порогов вибротактильной чувствительности здоровых субъектов, выраженных в метрах на секунду в квадрате, м/с^2 (см. приложение А).

перцентилю уровня 50, используют в качестве референтных порогов для расчетов референтных смещений порогов по формулам (5) и (6).

Примечание 1 — Средний порог вибротактильной чувствительности здоровых субъектов повышается с возрастом примерно на 0,03 дБ в год на частотах, соответствующих SAI, 0,08 дБ в год на частотах, соответствующих FAI, и на 0,25—0,35 дБ в год на частотах, соответствующих FAII.

Примечание 2 — При эпидемиологических исследованиях значения порогов вибротактильной чувствительности для референтной группы населения могут быть получены по результатам обследования контрольной группы.

6.5 Отклонения от порогов вибротактильной чувствительности здоровых субъектов

Отклонения от порогов вибротактильной чувствительности здоровых субъектов и референтные смещения порогов должны быть оценены через вероятности данных отклонений от средних значений указанных величин для здоровых субъектов. Погрешность измерений порогов вибротактильной чувствительности определяют согласно 6.2. Погрешность измерений среднего референтного порога вибротактильной чувствительности здоровых субъектов принимают равной нулю. Перцентили уровней 2,5 и 97,5 для порогов вибротактильной чувствительности здоровых субъектов, приведенные в приложении А, рассматривают как верхнюю и нижнюю границы области ожидаемых значений результатов измерений по ИСО 13091-1 для здоровых субъектов. Результаты вне указанной области рассматривают как отклонения. Таким же образом строят верхнюю и нижнюю границы для референтных смещений порогов.

Примечание — Для конкретного субъекта возможные отклонения от среднего порога вибротактильной чувствительности или среднего референтного смещения порога, характерного для здоровых субъектов, не обязательно обладают прогностической ценностью в отношении симптомов или нарушений, обусловленных дисфункцией периферической нервной системы.

6.6 Физиологическое и клиническое значения изменений порогов вибротактильной чувствительности

Физиологическое, функциональное и клиническое значение смещений порогов рассмотрено в приложении В.

Вибротактильная чувствительность может быть использована в качестве объективного теста для выявления периферических невропатий, как генерализованных, так и локальных, возникающих вследствие заболевания или воздействия нейротоксичных химических или физических факторов. Если значения порогов вибротактильной чувствительности определяют на нескольких частотах (эквивалентных частотах), вычисления показателя чувствительности или построение тактограммы может помочь в интерпретации полученных результатов. Повторные измерения относительного смещения порога могут быть полезны в ситуации, когда имеют место патологические или восстановительные процессы.

Изменения порогов вибротактильной чувствительности и референтных смещений порога могут быть следствием специфического влияния на тактильную функцию и отражать наличие скрытой патологии. Показано, что хорошим диагностическим признаком является референтное смещение порога на разных частотах (эквивалентных частотах), представленное в форме тактограммы. Примеры интерпретации тактограммы приведены в приложении В.

Приложение А
(рекомендуемое)

Пороги вибротактильной чувствительности здоровых субъектов

В таблице А.1 приведены результаты исследований порогов вибротактильной чувствительности здоровых субъектов методами тестирования, в основном соответствующими ИСО 13091-1. Однако, поскольку все эти исследования были проведены до опубликования вышеуказанного стандарта, в них содержатся некоторые отклонения от требований ИСО 13091-1, которые указаны в сноске к таблице.

Литературные источники, из которых взяты значения порогов вибротактильной чувствительности, приведены в левом столбце таблицы А.1. Диаметры толкателя и подставки, если ее используют, приведены в столбцах 2 и 3 соответственно. В работе [25] постоянный прогиб участка кожи измерялся и контролировался непосредственно. В других исследованиях эту величину оценивали по измерениям силы в области контакта с толкателем или с толкателем и подставкой (столбец 4). Во всех исследованиях, включенных в таблицу А.1, сила нажатия на толкатель и подставку, если она использовалась, поддерживалась на заданном уровне. В таблице А.1 указаны также такие параметры алгоритма психофизических измерений как пол субъекта (мужской — М или женский — F), число обследованных субъектов N и их средний возраст.

В таблице А.1 дано краткое описание групп населения, для которых были получены значения порогов вибротактильной чувствительности. Если в литературном источнике была приведена информация о медицинских наблюдениях субъектов в целях выявления симптомов заболеваний периферической нервной системы или о регулярных воздействиях на субъектов нейротоксичных факторов или вибрации, она также указана в таблице А.1. Во всех работах значения порогов вибротактильной чувствительности были определены для здоровых субъектов.

Значения порогов вибротактильной чувствительности для здоровых мужчин и женщин, определенных в соответствии с требованиями ИСО 13091-1, приведены в децибелах, дБ, относительно опорного значения 10^{-6} м/с^2 (таблица А.2) и в метрах на секунду в квадрате, м/с^2 (таблица А.3). Эти значения представлены в виде перцентилей уровней 2,5; 15; 50 (медиана); 85 и 97,5 для соответствующей группы населения для всех частот (эквивалентных частот) предъявления стимула, указанных в ИСО 13091-1, таблица 1. Принято, что пороги вибротактильной чувствительности, если они выражены в децибелах, распределены по закону, близкому к Гауссовому. Значения перцентилей, отличных от среднего значения, для порогов вибротактильной чувствительности, выраженных в децибелах, относительно опорного значения 10^{-6} м/с^2, на заданной частоте (эквивалентной частоте) f_j могут быть получены исходя из формулы для вероятности распределения p:

$$p\,[T(f_j)_{\text{ref}}] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s(f_j)} e^{-\left[T(f_j)_{\text{ref}} - T(f_j)_{\text{ref,M}}\right]^2 / 2s^2(f_j)}, \qquad \text{(A.1)}$$

где значения среднего референтного порога вибротактильной чувствительности $T(f_j)_{\text{ref, M}}$ и стандартного отклонения $s(f_j)$ приведены в таблицах А.2 и А.4 соответственно.

Значения порогов вибротактильной чувствительности в таблице А.2 получены по данным таблицы А.1 приведением к единому возрастному параметру 30 лет. Для каждой частоты (эквивалентной частоты) указано общее число пальцев N_F, по которым проводилось усреднение. Пороги вибротактильной чувствительности определяли по результатам, полученным для пальцев 2 и 3 (см. 5.5, примечание 2) и пальцу 5, если не наблюдалось существенной разницы в порогах, измеренных для пальцев, находящихся в зоне иннервации срединного и локтевого нервов.

Примечание — Использование альтернативных методов измерений по ИСО 13091-1 может дать несколько отличные значения порогов вибротактильной чувствительности. Случайные (не учитываемые поправками на условия измерений) отклонения средних порогов вибротактильной чувствительности для каждого исследования, указанного в таблице А.1, от перцентилей уровня 50, приведенных в таблице А.2, обычно не превышает 2 дБ. В некоторых исследованиях наблюдалось повышение порога вибротактильной чувствительности (т. е. снижение остроты восприятия) на пальцах, иннервируемых локтевым нервом.

На порог вибротактильной чувствительности женщин (в частности, на частотах, соответствующих FAII, т. е. 100, 125 и 160 Гц) влияют обычные гормональные изменения в период менструального цикла. Этим объясняется более высокое значение $s(f_j)$ для женщин по сравнению с мужчинами (см. таблицу А.4).

Средний порог вибротактильной чувствительности здоровых субъектов повышается с возрастом примерно на 0,03 дБ в год на частотах, соответствующих SAI, на 0,08 дБ в год на частотах, соответствующих FAI, и на 0,25—0,35 дБ в год на частотах, соответствующих FAII. Для FAII этот эффект зависит также от частоты возбуждения: на частоте 100 Гц он менее выражен, чем на частоте 160 Гц. В соответствии с этим могут быть скорректированы средние значения вибротактильной чувствительности для субъектов, чей возраст не равен 30 годам. Однако необходимо иметь в виду, что закон изменения с возрастом порогов вибротактильной чувствительности для отдельных субъектов может отличаться от вышеприведенного весьма существенно.

Перцентили уровня 50, приведенные в таблицах А.2 и А.3, могут использоваться в качестве референтных порогов при вычислении и интерпретации референтных смещений порога: $T(f_j)_{ref}$ по формуле (5) и $t(f_j)_{ref}$ по формуле (6) соответственно.

Таблица А.1 — Литературные источники исследований порогов вибротактильной чувствительности методами, близкими к ИСО 13091-1

Источник	Диаметр толкателя, мм	Диаметр подставки, мм	Прогиб кожи, мм	Метод	Субъект исследований			
					Пол	Число субъектов N	Средний возраст, лет	Обследуемая группа
[4][a]	6	10	2,8[b]	фон Бекеши	M	10	30,1	Работники ручного труда под медицинским наблюдением
[4][a]	6	10	2,8[b]	фон Бекеши	F	15	32,3	Работники ручного труда под медицинским наблюдением
[5]	3	—	0,9[b]	границ	M	38	40,8	Служащие и работники ручного труда кавказской и азиатской национальностей под медицинским наблюдением
[24]	6	10	2,9[b]	фон Бекеши	M	29	36	Работники ручного труда
[25]	6	—	1,0	фон Бекеши[c]	M	11	25	Студенты и служащие
[29][a]	6	10	2,8[b]	фон Бекеши	M	9	28,8	Служащие
[36]	6	10	2,8[b]	фон Бекеши[d]	M	165	40	Служащие и работники ручного труда под медицинским наблюдением
[36]	6	10	2,8[b]	фон Бекеши[d]	F	126	40	Служащие и работники ручного труда под медицинским наблюдением

[a] Расчеты, выполненные при нарастающем и спадающем возбуждении, дают систематическую ошибку VPT порядка 1,5 дБ (см. [36]).

[b] Прогиб кожи оценивался по силе нажатия в области контакта (по методике, описанной в [23] и [33]).

[c] На частотах свыше 50 Гц скорость изменения интенсивности стимула превышала 3 дБ/с, что могло привести к завышению оценки VPT.

[d] Скорость изменения интенсивности стимула превышала 3 дБ/с, что могло привести к завышению оценки VPT.

Таблица А.2 — Пороги вибротактильной чувствительности в децибелах (относительно опорного значения 10^{-6} м/с^2) для здоровых субъектов

Пол	Уровень перцентиля и N_F	Возраст, лет	Частота, Гц								
			3,15	4	5	20	25	31,5	100	125	160
Мужской (M)	2,5	30	63,8	67,0	71,3	82,0	84,8	89,0	97,7	94,0	97,3
	15		69,0	72,0	76,0	86,8	89,5	94,3	102,8	100,5	102,3
	50		75,0	77,5	81,5	92,3	95,0	100,3	108,5	107,8	108,0
	85		81,0	83,0	87,0	97,8	100,5	106,3	114,3	115,0	113,8
	97,5		86,3	88,0	91,8	102,5	105,3	111,5	119,3	121,5	118,8
	N_F		11	110	110	159	11	382	110	283	110
Женский (F)	2,5	30	—	—	—	80,8	—	88,3	—	92,3	—
	15		—	—	—	87,3	—	94,8	—	100,8	—
	50		—	—	—	94,8	—	101,8	—	110,0	—
	85		—	—	—	102,3	—	108,8	—	119,3	—
	97,5		—	—	—	109,0	—	115,3	—	127,5	—
	N_F		—	—	—	60	—	186	—	126	—

Т а б л и ц а А.3 — Пороги вибротактильной чувствительности в метрах на секунду в квадрате, м/с^2, для здоровых субъектов

Пол	Уровень перцентиля и N_F	Возраст, лет	Частота, Гц								
			3,15	4	5	20	25	31,5	100	125	160
Мужской (M)	2,5	30	0,0015	0,0022	0,0037	0,013	0,017	0,028	0,077	0,050	0,073
	15		0,0028	0,0040	0,0063	0,022	0,030	0,052	0,14	0,11	0,13
	50		0,0056	0,0075	0,012	0,041	0,056	0,10	0,27	0,25	0,25
	85		0,011	0,014	0,022	0,078	0,11	0,21	0,052	0,56	0,49
	97,5		0,021	0,025	0,039	0,13	0,18	0,38	0,92	1,19	0,87
	N_F		11	110	110	159	11	382	110	283	110
Женский (F)	2,5	30	—	—	—	0,011	—	0,026	—	0,041	—
	15		—	—	—	0,023	—	0,055	—	0,11	—
	50		—	—	—	0,055	—	0,12	—	0,32	—
	85		—	—	—	0,13	—	0,28	—	0,92	—
	97,5		—	—	—	0,28	—	0,58	—	2,37	—
	N_F		—	—	—	60	—	186	—	126	—

Т а б л и ц а А.4 — Значение $s(f_j)$, в децибелах, для формулы (А.1)

Пол	$s(f_j)$ и N_F	Возраст, лет	Частота, Гц								
			3,15	4	5	20	25	31,5	100	125	160
Мужской (M)	$s(f_j)$	30	5,75	5,35	5,25	5,25	5,25	5,75	5,5	7,0	5,5
	N_F		11	110	110	159	11	382	110	283	110
Женский (F)	$s(f_j)$	30	—	—	—	7,2	—	6,85	—	9,0	—
	N_F		—	—	—	60	—	186	—	186	—

Приложение В
(справочное)

Оценка изменений порогов вибротактильной чувствительности

В.1 Применение в клинической медицине

Интерес к оценке чувствительности к вибрации в качестве средства неврологической диагностики наблюдался в течение ста последних лет. Еще первые исследователи отмечали снижение вибротактильной чувствительности (т. е. возрастание порогов вибротактильной чувствительности) при диабете, периферическом нефрите и пернициозной анемии и гиперчувствительность (т. е. уменьшение порогов вибротактильной чувствительности) в случае болезни Паркинсона. Позднее измерение вибротактильной чувствительности было предложено как средство обнаружения различных периферических невропатий, генерализованных или локальных, связанных с заболеванием или воздействием химических или физических факторов. Данный метод применяют для диагностики карпального туннельного синдрома, радиального туннельного синдрома, хронических растяжений сухожилий травматического характера, ульнарных невропатий, полиневропатий, а также при осмотрах рабочих, чья профессиональная деятельность связана с постоянным воздействием локальной вибрации. С этой целью определяют пороги вибротактильной чувствительности на разных частотах воздействия (или эквивалентных частотах) и на их основе вычисляют показатель чувствительности или строят тактограмму, облегчающие интерпретирование полученных результатов.

При развитии какого-либо патологического процесса имеет смысл проводить повторные измерения относительных смещений порогов на тех же частотах, той же аппаратурой и тем же методом. В этом случае систематическая ошибка, связанная с методом и применяемым оборудованием, нивелируется, и результат теста определяется только состоянием субъекта. В литературе отмечено использование измерений относительного смещения порога для оценки тяжести заболеваний больных диабетом, пациентов, прошедших гемодиализ, онкологических больных после проведения химиотерапии, а также для рабочих, подвергавшихся нейротоксичному воздействию химической или физической природы. Кроме того, измерения относительного смещения порога были использованы при мониторинге восстановительного процесса нервной проводимости и реабилитации функции руки.

Была доказана также правомерность измерения порогов вибротактильной чувствительности в качестве объективного теста в клинической медицине. Документально установлена корреляция результатов, полученных методами, основанными на измерениях порогов вибротактильной чувствительности, и другими способами оценки состояния периферической нервной системы, в частности, нервной проводимости.

Отсутствие в прошлом стандартизованного метода оценки порогов вибротактильной чувствительности, равно как и нормативных значений этой характеристики, ограничивало широту применения данной техники в клинической практике. Стандартизация настоящего метода, связавшего пороги вибротактильной чувствительности на заданных частотах возбуждения или эквивалентных частотах с разными популяциями механорецепторов, позволило получить больше информации о тактильной дисфункции. Применение этой информации рассмотрено в настоящем приложении.

В.2 Физиология тактильного восприятия и смещения порога

Тактильные способности кисти руки определяются нервной активностью до четырех популяций специализированных нервных окончаний, локализованных в кончиках пальцев. Обычно популяции механорецепторов классифицируют по их восприятию кожного прогиба и по протяженности рецепторных полей. Пороги вибротактильной чувствительности для трех популяций механорецепторов могут быть определены в соответствии с ИСО 13091-1. Четвертая популяция механорецепторов, на которую не распространяется ИСО 13091-1, реагирует на растяжения кожного покрова.

Тремя популяциями механорецепторов на кончиках пальцев рук, для которых могут быть получены значения порогов вибротактильной чувствительности, являются: медленноадаптирующиеся рецепторы типа I (SAI), которые анатомически коррелируют с дисками Меркеля; быстроадаптирующиеся механорецепторы типа I (FAI), которые анатомически коррелируют с тельцами Мейстнера, и быстроадаптирующиеся механорецепторы типа II (FAII), которые анатомически коррелируют с тельцами Пачини. Активность SAI проявляется, преимущественно, в восприятии пространственных свойств поверхности (ребристость и текстура). В противоположность этому активность FAI и FAII проявляется в виде информации о движении поверхности, контактирующей с кожей. Необходимо иметь в виду, что при захвате предметов пальцами руки важную роль играют ощущения микроскопических смещений объекта, на которые реагируют, в основном, FAI, поэтому качество захвата определяется, в первую очередь, тактильной чувствительностью, а не нервно-мышечными функциями.

Таким образом, следует ожидать, что изменения порогов вибротактильной чувствительности для SAI, FAI и FAII могут повлиять на тактильные функции руки и создать сложности в удержании объектов и манипулировании ими. С точки зрения клинической практики указанные изменения могут являться проявлением патологии. Смещения порогов на разных частотах позволяют обнаружить характерные отклонения, которые легче всего наблюдать

с помощью тактограммы. На рисунке В.1 изображены тактограммы для двух пальцев рук двух разных субъектов. Для каждого случая показаны референтные смещения порогов.

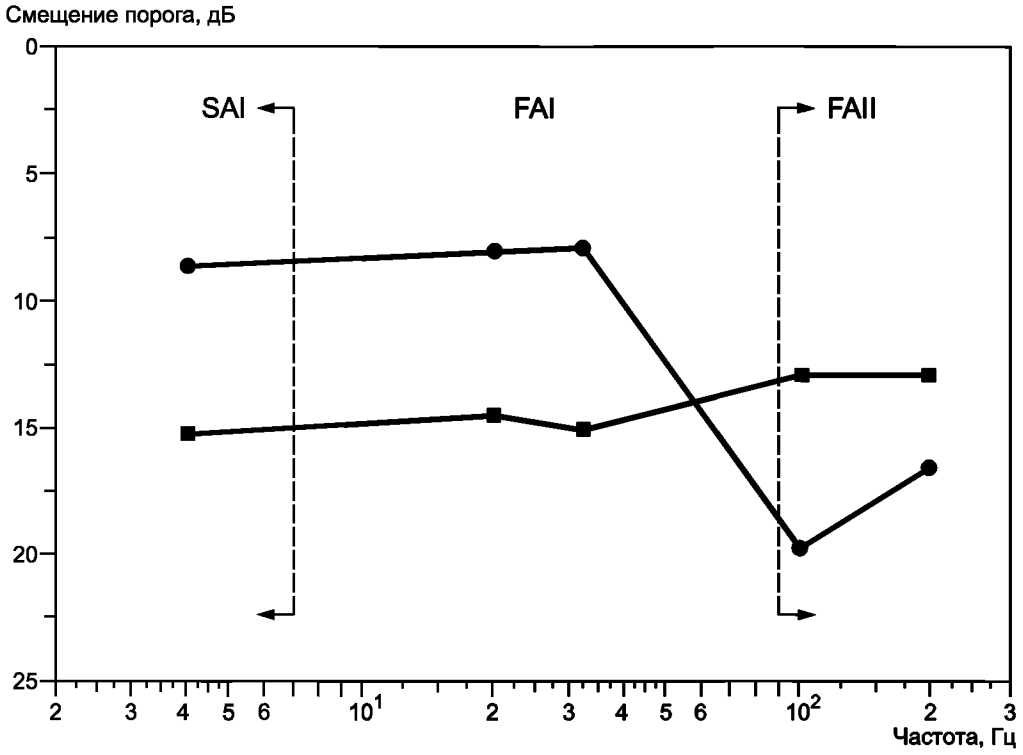

Рисунок В.1 — Тактограммы референтного смещения порога на пальцах двух операторов цепных пил

Из этих примеров видно, что на частотах возбуждения одной и той же популяции механорецепторов (например, на частотах 20 и 31,5 Гц) наблюдаются одинаковые смещения порогов. Как видно по одной из тактограмм рисунка В.1, образованной закрашенными квадратиками, для некоторых пальцев эти смещения близки по величине для всех популяций механорецепторов, однако для других пальцев смещения порогов для разных популяций механорецепторов могут быть разными. Так на тактограмме рисунка В.1, образованной закрашенными кружочками, видно, что эти смещения приблизительно одинаковы для SAI и FAI, но существенно возрастают для FAII. Указанное смещение для разных популяций механорецепторов следует считать статистически значимым.

Характерные смещения порогов дают информацию о природе изменений сенсорной чувствительности или повреждения нерва и указывают на изменения во всем нерве (тактограмма рисунка В.1, образованная квадратиками) или только в одной или двух рецепторных популяциях (тактограмма рисунка В.1, образованная кружочками). В последнем случае можно предположить выборочные периферические поражения нервных волокон или рецепторов.

В.3 Корреляция между результатами исследований порогов вибротактильной чувствительности, нервной проводимости и общими клиническими тестами

Известен ряд работ по исследованию больных с жалобами на руки, выполненных для оценки эффективности разных клинических тестов. В одной из таких работ было проведено одновременное исследование вибротактильной чувствительности и нервной проводимости. Неврологические симптомы были обнаружены у 98 % рабочих верфи, использующих ручные инструменты. В этой группе пороги вибротактильной чувствительности на 120 Гц были одинаково повышены по сравнению с группой работников ручного труда, состоящей из здоровых субъектов, что хорошо согласовывалось с выявленными изменениями по результатам лабораторных тестов на нервную проводимость.

В другой работе в ходе независимых обследований для групп пациентов исследовалась взаимосвязь между порогами вибротактильной чувствительности, измеренными для 1-го и 5-го пальцев каждой руки (см. 5.5, примечание 2), результатами традиционного неврологического обследования предплечий и кистей рук, включая вибрационную чувствительность (камертон), болевую чувствительность (укол иглой) и проприорецепторную чувствительность (положение суставов), и нервной проводимостью. Была обнаружена сильная корреляция между заключениями, сделанными на основе измерений порогов вибротактильной чувствительности, с данными, полученными с помощью камертона, для одних и тех же пальцев рук (статистический коэффициент значимости $p < 0{,}001$), статистически значимая — с данными по тестам проприорецепции ($p < 0{,}01$) и более слабая — с дан-

ными теста на болевую чувствительность ($p < 0,05$). Корреляция не зависела от того, какими нервами, срединными или локтевыми, иннервированы пальцы.

Использование измерений порогов вибротактильной чувствительности как вспомогательного средства диагностики при туннельном синдроме дает противоречивые результаты. По крайней мере, частично это можно объяснить несовершенством использованной аппаратуры, которая не удовлетворяла требованиям ИСО 13091-1. Но более существенным является то, что наличие или отсутствие корреляции очень сильно зависит от использованных нормативных значений порогов вибротактильной чувствительности, а также от используемых диагностических критериев.

Выявленная недостаточная корреляция между результатами, полученными на основе измерений порогов вибротактильной чувствительности, и результатами других тестов для группы субъектов не может служить причиной для беспокойства, поскольку один тест может обнаружить физиологические или патологические изменения до того, как они будут определены другими тестами. На рисунке В.2 приведен пример тактограммы испытуемого с нормальной нервной проводимостью и неопределенной дисфункцией руки. Во время компьютерного тестирования у сорокадвухлетнего бывшего рабочего верфи (специальность — шлифовщик) с жалобами на боли в локте и трудностями координации движений было выявлено статистически достоверное референтное смещение порогов для SAI и FAI обеих рук и его отсутствие для FAII. Тесты на нервную проводимость неврологических изменений не выявили. Более того, следует отметить, что смещения порогов для 3-го (светлые квадратики на рисунке В.2) и 5-го (темные квадратики на рисунке В.2) пальцев каждой руки были почти одинаковы, и характер этого смещения для обеих рук был одним и тем же.

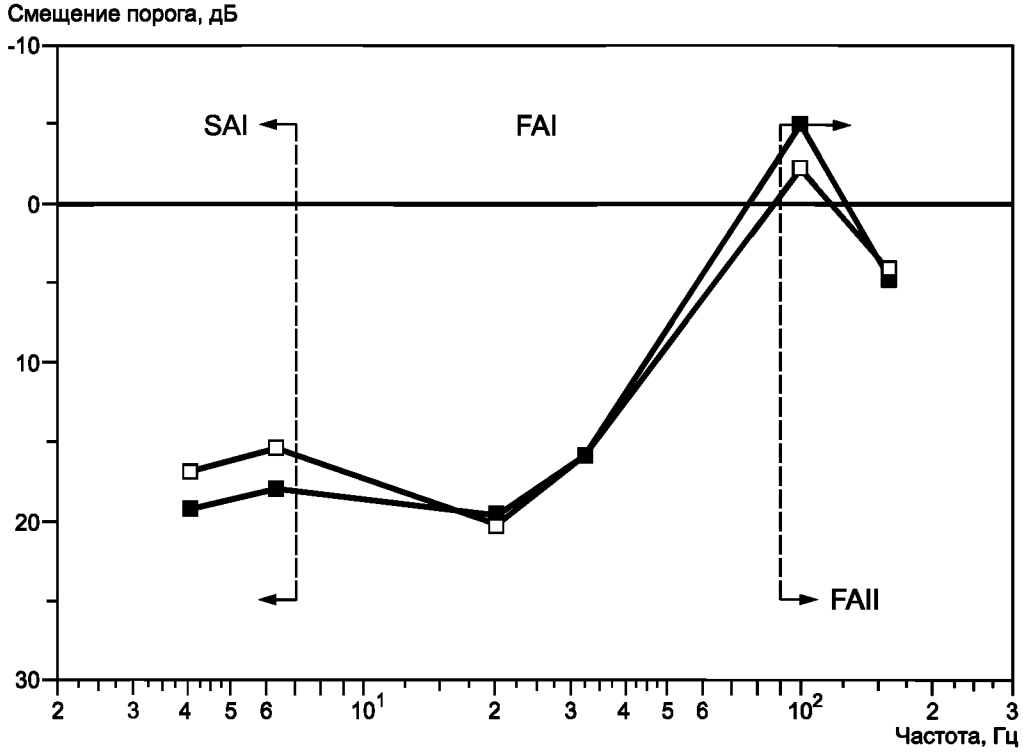

Рисунок В.2 — Тактограммы референтного смещения порога на пальцах левой руки рабочего верфи

В.4 Корреляция между смещениями порогов вибротактильной чувствительности и функциями руки

Определение порогов вибротактильной чувствительности обеспечивает количественную оценку состояния соматосенсорного пути, по которому информация от вибротактильных рецепторов поступает в мозг. По своей функциональной значимости этот путь является важным для тактильного распознавания объекта и, как часть соматосенсорной петли, для манипулирования объектом и его контроля.

Взаимосвязь между значениями порогов вибротактильной чувствительности на кончиках пальцев рук и симптомами снижения способности совершать движения пальцами руки установлена по результатам ответов на вопросы, предложенные в анкете группе рабочих ручного труда. В этом исследовании определялись пороги вибротактильной чувствительности для SAI, FAI и FAII в соответствии с ИСО 13091-1. Для рабочих, утвердительно ответивших на вопрос анкеты о нечувствительности (онемении) пальцев и наличии трудностей в застегивании пуговиц на одежде, были обнаружены статистически значимые референтные смещения порогов для SAI и/ или FAII. Наилучшим образом прогнозировать смещение порогов можно было для группы лиц с жалобами на труднос-

ти манипулирования мелкими предметами и застегиванием пуговиц. В этом случае прогностическая ценность положительных результатов составила от 90 % до 100 %, а отрицательных результатов — от 0 % до 2,8 %.

Изучалась также возможность раннего обнаружения относительного и референтного смещений порогов с целью предотвращения развития функциональной недостаточности в случае ухудшающейся чувствительности или с целью восстановления функции поврежденных нервов в случае повышающейся чувствительности. Была подвергнута исследованию группа рабочих ручного труда (операторы легких цепных пил), из которых 30 % на начало исследований имели симптомы изменения нейросенсорной или нервно-мышечной функции. Результаты измерений порогов вибротактильной чувствительности были сопоставлены с результатами функциональных тестов (охват кистью руки, сила кисти и предплечья) и симптомами, выявленными во время физических осмотров за пятилетний период. Статистически значимое референтное смещение порогов было выявлено у 3 % членов группы на первом осмотре и у 14 % спустя 5 лет. Статистически значимое относительное смещение порога ($p < 0,01$) было зафиксировано у большинства рабочих через 5 лет работы, в то время как симптомы, обнаруживаемые другими методами, отсутствовали.

В.5 Резкое смещение порогов и преходящие нарушения функции руки

В ряде случаев может иметь место резкое (т. е. кратковременное) референтное или относительное смещение порогов (например, потеря чувствительности при воздействии локальной вибрации). Из лабораторных экспериментов известно, что на биомеханический контроль положения предплечья и кисти руки влияет воздействие на руку вибрации, что приводит к временной потере способности к управлению объектом или его удержанию. Вибрация влияет также на точность выполняемых рукой движений.

Для операторов вибрирующих ручных машин выявлена взаимосвязь между временным относительным смещением порога, интенсивностью вибрационного воздействия и выраженностью неврологических симптомов вибрационной болезни. Таким образом, в течение рабочего дня существует возможность резких изменений порогов вибротактильной чувствительности, что препятствует выполнению рабочих операций и повышает риск возникновения травмы вследствие потери управления вибрирующим инструментом. В ходе проведенных лабораторных исследований, однако, не удалось установить количественную связь между воздействием вибрации и нарушением функций руки. Для более детального анализа необходимо принимать во внимание, на какую популяцию механорецепторов воздействует вибрация и каким смещениям порогов это соответствует.

Приложение С
(справочное)

Сведения о соответствии национальных стандартов Российской Федерации ссылочным международным стандартам

Таблица С.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 2041:1990	ГОСТ 24346—80 Вибрация. Термины и определения
ИСО 5805:1997	*
ИСО 13091-1:2001	ГОСТ ИСО 13091-1—2008 Вибрация. Пороги вибротактильной чувствительности для оценки нервных дисфункций. Часть 1. Методы измерений на кончиках пальцев рук
* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.	

Библиография

[1] AHREND K.-D. Validierung der Pallästhesiometrie als Screening-Methode zur Diagnostik der beruflichen Schwingungsbeanspruchung. Teilprojekt: Ermittlung von Normalwerten. Verbundprojekt BMFT 01 HK 071/1, Pallästhesiometrie, Abschlussbericht, Mainz, 1994

[2] BEAUMONT D., NOEUVEGLISE M. and VIABERT M.-L. Practicability of digital tactilometry in construction industry occupational medicine. In: Dupuis H., Christ E., Sandover J., Taylor W. and Okada A. (eds.) Proc. 6th Int. Conf. on Hand-Arm Vibration, HVBG (Bonn, Germany), 1992, pp. 835-844

[3] BLAKE D.T., HSIAO S.S. and JOHNSON K.O. Neural coding mechanisms in tactile pattern recognition: The relative contributions of slowly and rapidly adapting mechanoreceptors to perceived roughness. J. Neuroscience, 17, 1997, pp. 7480-7489

[4] BOVENZI M., APOSTOLI P., GRAZIA A. and VANONI O. Changes over a workshift in pallesthesiometric and vibrotactile perception thresholds of workers exposed to intermittent vibration from impact wrenches. Occup. Environ. Med., 54, 1997, pp. 577-587

[5] BRAMMER A.J., PIERCY J.E., NOHARA S., NAKAMURA H. and AUGER P.L. Agerelated changes in mechanoreceptor-specific vibrotactile thresholds for normal hands. J. Acoust. Soc. Am., 93, 1993, p. 2361

[6] BRAMMER A.J., PIERCY J.E., NOHARA S., NAKAMURA H. and AUGER P.L. Mechanoreceptor-specific vibrotactile thresholds: Inter- and intra-subject differences. In: Dupuis H., Christ E., Sandover J., Taylor W. and Okada A. (eds.). Proc. 6th Int. Conf. on Hand-Arm Vibration, HVBG (Bonn, Germany), 1992, pp. 245-251

[7] BRAMMER A.J., PIERCY J.E., NOHARA S., NAKAMURA H., AUGER P.L., HAINES A.T., LAWRENCE M., BRUBAKER R.L.and VAN NETTEN C. Vibrotactile thresholds in operators of vibrating hand-held tools. In: Okada A., Taylor W., Dupuis H. (eds.). Proc. 5th Int. Conf. on Hand-Arm Vibration, Kyoei Press (Kanazawa, Japan), 1990, pp. 221-223

[8] BRAMMER A.J., SUTINEN P., KOSKIMIES K., PYYKKÖ I. and STARCK J. Early detection of deterioration in tactile acuity: II: A prospective study of forest workers (in preparation)

[9] CHERNIACK M.G., LETZ C., GERR F., BRAMMER A.J. and PACE P. Detailed clinical assessment of neurologic function in symptomatic shipyard workers. J. Indust. Med., 47, 1990, pp. 566-572

[10] CHERNIACK M.G., MOALLI D. and VISCOLI C. A comparison of traditional electrodiagnostic studies, electroneurometry and vibrometry in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. J. Hand Surg., 21A, 1996, pp. 122-131

[11] CHERNIACK M.G., PETERSON D. and BRAMMER A.J. Vibrotactile perception thresholds in chronic hand dysfunction (in preparation)

[12] COUTU-WAKULCZYK G., BRAMMER A.J. and PIERCY J.E. Association between a quantitative measure of tactile acuity and hand symptoms reported by operators of power tools. J. Hand Surg., 22A, 1997, pp. 148-154

[13] DAGALAKIS N.G., MUEHLHOUSE C., WAKAMIYA S. and YANG J.C.S. Loss of control biomechanics of the human arm-elbow system. J. Biomechanics, 20, 1987, pp. 385-396

[14] DELLON A.L. Somatosensory testing and rehabilitation. American Occupational Therapy Association, Bethesda MD, 1997

[15] FRASER C.G. and HARRIS E.K. Generation and application of data on biological variation in clinical chemistry. Critical Reviews in Clinical Lab. Sci., 27, 1989, pp. 409-437

[16] GERR F., LETZ R., HERSHMAN D., FARRAYE J. and SIMPSON D. Comparison of vibrotactile thresholds with physical examination and electrophysiological assessment. Muscle and Nerve, 14, 1991, pp. 1059-1066

[17] GESCHEIDER G.A., VERRILLO R.T., McCANN J.T. and ALDRICH E.M. Effects of the menstrual cycle on vibrotactile sensitivity. Percept Psychophys., 36, 1984, pp. 586-592

[18] GOFF G.D., ROSNER B.S., DETRE T. and KENNARD D. Vibration perception in normal man and medical patients. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat., 28, 1965, pp. 503-509

[19] GREENING J. and LYNN B. Vibration sense in the upper limb in patients with repetitive strain injury and a group of at-risk office workers. Int. Arch. Occup. Environ. Med., 71, 1998, pp. 29-34

[20] JETZER T., CONRAD J.C. and HEITHOFF K. The role of CT scanning and vibrometry testing in the diagnostic evaluation of carpal tunnel syndrome. Proc. Volvo-IFFSH Conf. Prevention of Brachial Injuries and Cumulative Trauma Disorders, Stockholm Sweden, 1987, pp. 53-57

[21] JOHANNSON R.S. and VALLBO A.B. Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand. Trends Neurosci., 6, 1983, pp. 27-32

[22] JOHNSON K.O. and HSIAO S.S. Evaluation of the relative roles of slowly and rapidly adapting afferent fibers in roughness perception. Can. J. Physiol. Pharmacol., 72, 1994, pp. 488-497

[23] LINDSELL C.J. Vibrotactile thresholds: Effect of contact force and skin indentation. Proc. U.K. Group Meeting on Human Response to Vibration, Southampton 1997, pp. 1-11

[24] LINDSELL C.J. and GRIFFIN M.J. Thermal thresholds, vibrotactile thresholds and finger systolic blood pressure in dockyard workers exposed to hand-transmitted vibration. Int. Arch. Occup. Environ. Health, 72, 1999, pp. 377-386

[25] LÖFVENBERG J. and JOHANNSON R.S. Regional differences and interindividual variability in sensitivity to vibration in the glabrous skin of the human hand. Brain Res., 301, 1984, pp. 65-72

[26] LUNDBORG G., DAHLIN L., LUNDSTRÖM R., NECKING L. and STRÖMBERG T. Vibrotactile function in compression and vibration-induced neuropathy: Sensibility index – A new measure. Scand. J. Plast. Reconstr. Hand Surg., 26, 1992, pp. 275-279

[27] LUNDSTRÖM R., STRÖMBERG T. and LUNDBORG G. Vibrotactile perception threshold measurements for diagnosis of sensory neuropathy: Description of a reference population. Int. Arch. Occup. Environ. Health, 64, 1992, pp. 201-207

[28] MACEFIELD G., HÄGER-ROSS C. and JOHANNSON R.S. Control of grip force during restraint of an object held between finger and thumb: Responses of cutaneous afferents from the digits. Exp. Brain Res., 108, 1996, pp. 151-171

[29] MAEDA S. and GRIFFIN M.J. A comparison of vibrotactile thresholds for the finger obtained with different equipment. Ergonomics, 37, 1994, pp. 1391-1406

[30] MALCHAIRE J., RODRIGUES DIAZ L.S., PIETTE A., GONCALES AMARAL F. and DE SCHAETZEN D. Neurological and functional effects of short-term exposure to hand-arm vibration. Int. Arch. Occup. Environ. Health, 71, 1998, pp. 270-276

[31] MARTIN B.J., SALTZMAN J. and ELDERS G. Effects of vibration frequency and duration on eye-hand coordination in pointing tasks. In: Dupuis H., Christ E., Sandover J., Taylor W. and Okada A. (eds.). Proc. 6th Int. Conf. on Hand-Arm Vibration, HVBG (Bonn, Germany), 1992, pp. 185-192

[32] MEYER S.L. Data Analysis for Scientists and Engineers. John Wiley, New York, 1975

[33] PIERCY J.E. and BRAMMER A.J. Mean vibrotactile perception thresholds at the fingertips of healthy males. Proc. U.K. Group Meeting on Human Response to Vibration, Southampton, 2000, pp. 1-10

[34] SRINIVASAN M.A., WHITEHOUSE J.M. and LAMOTTE R.H. Tactile detection of slip: Surface microgeometry and peripheral neural codes. J. Neurophysiol., 63, 1990, pp. 1323-1332

[35] THONNARD J.-L., MASSET D., PENTA M. and PIETTE A. Short-term effect of hand-arm vibration exposure on tactile sensitivity and manual skill. Scand. J. Work Environ. Health, 23, 1997, pp. 193-198

[36] WILD P., MASSIN N., LASFARGUES G., BAUDIN V., UNLU D. and DONATI P. Vibrotactile perception thresholds in four non-exposed populations of working age (submitted for publication)

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 13.160 Т34

Ключевые слова: вибрация, вибротактильная чувствительность, порог вибротактильной чувствительности, смещение порога, измерения, оценка, нервные дисфункции

Редактор *Н.О. Грач*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.С. Кабашова*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 27.01.2009. Подписано в печать 04.03.2009. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,37. Тираж 131 экз. Зак. 118.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru