

ГОСТ Р 51399—99  
(ИСО 10815—96)

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

## Вибрация

# ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ ВНУТРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТУННЕЛЕЙ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПОЕЗДОВ

Издание официальное

Б3 11—99/458

ГОССТАНДАРТ РОССИИ  
Москва

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация и удар»

2 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 17 декабря 1999 г. № 533-ст

3 Разделы (подразделы, приложения) настоящего стандарта, за исключением 4.1.1, представляют собой аутентичный текст ИСО 10815—96 «Вибрация. Измерения вибрации, создаваемой внутри железнодорожных туннелей при прохождении поездов»

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© ИПК Издательство стандартов, 2000

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта России

## Содержание

1 Область применения . . . . .	1
2 Нормативные ссылки . . . . .	1
3 Определения . . . . .	1
4 Факторы, оказывающие влияние на вибрацию . . . . .	2
5 Измеряемые параметры вибрации . . . . .	2
6 Методы измерений . . . . .	2
7 Средства измерений . . . . .	4
8 Свойства источников вибрации . . . . .	5
9 Типы испытаний . . . . .	5
10 Оценка результатов измерений . . . . .	6
11 Протокол испытаний . . . . .	6
Приложение А Примеры результатов измерений . . . . .	7
Приложение В Библиография . . . . .	7

## Введение

Железнодорожные туннели подвергаются регулярному воздействию вибрации, источником которой служат разные объекты и события (поезда и служебные транспортные средства, работы по техническому обслуживанию и т. д.). В настоящем стандарте рассмотрена только вибрация от проходящих поездов.

По результатам измерения вибрации можно сделать заключение, насколько обоснованными будут предположения о возможных повреждениях конструкции железнодорожного туннеля.

Измерения вибрации обычно проводят в следующих случаях:

- когда установлен максимально допустимый уровень вибрации и необходимо осуществлять регулярный контроль на соответствие этому уровню (см. 9.2);
- когда необходимо проверить, насколько расчетные значения динамических характеристик только что построенного железнодорожного туннеля соответствуют реальным (см. 9.1);
- в специальных случаях, когда железнодорожный туннель был подвергнут аномальным внешним воздействиям (например огня, землетрясения, взрыва, работы сваезабивочного копра или сноса расположенного поблизости здания) и необходимо проверить целостность конструкции (см. 9.1);
- когда были внесены изменения в конструкцию железнодорожного пути или конструкцию транспортного средства (например изменена нагрузка на ось).

**Вибрация**

**ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ ВНУТРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТУННЕЛЕЙ  
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПОЕЗДОВ**

Mechanical vibration. Measurement of vibration generated internally  
in railway tunnels by the passage of trains

Дата введения 2000—07—01

**1 Область применения**

Настоящий стандарт устанавливает общие принципы измерений, обработки и оценки результатов измерений вибрации, появляющейся при прохождении по железнодорожным туннелям (далее — туннели) поездов.

Стандартизация указанных процедур позволяет сравнивать результаты измерений, полученные в разные моменты времени и в разных туннелях<sup>1)</sup>.

Рассматриваемые в настоящем стандарте измерения относятся к отклику конструкции и вспомогательных элементов, установленных в туннеле. Они не относятся к воздействию вибрации на людей, находящихся в туннеле или поблизости от него, а также на пассажиров проходящих по туннелю поездов.

**2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.012—90 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность.  
Общие требования

ГОСТ 24346—80 Вибрация. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО 5348—99 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров

**3 Определения**

В настоящем стандарте применяют термины по ГОСТ 24346.

Кроме того, в целях настоящего стандарта применяют следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **туннель**: Подземное сооружение, внутри которого проходят пассажирские и грузовые поезда, а также служебные транспортные средства.

3.2 **фоновый шум**: Сумма всех сигналов, за исключением того, что подлежит исследованию.

<sup>1)</sup> Результаты измерений можно сравнивать только в тех случаях, когда характеристики источников вибрации, т. е. поездов, близки между собой.

## 4 Факторы, оказывающие влияние на вибрацию

### 4.1 Факторы, связанные с конструкцией туннеля

Динамические характеристики туннеля в значительной мере зависят от его геометрии, конструкции, глубины заложения и свойств грунта.

Туннель с внутренней облицовкой обычно представляет собой систему отдельных элементов (например бетонная конструкция, вентиляционные каналы и т. д.), каждый из которых находится в контакте с грунтом. Частотные характеристики этих элементов так же, как и их связь с грунтом или горной породой, могут быть различными.

#### 4.1.1 Типы туннелей и их состояние

В настоящее время наблюдается большое разнообразие типов туннелей — как уже устаревших, так и самых современных конструкций. Тип и состояние туннеля оказывают влияние на отклик конструкции на входное вибрационное воздействие.

#### 4.1.2 Собственные частоты и коэффициенты демпфирования

Частоты, которые представляют интерес с точки зрения отклика конструкции туннеля на вибрационное воздействие, связаны, в основном, с характеристиками элементов этой конструкции. Фундаментальную частоту колебаний объемного резонатора — полости в толще породы, где расположен туннель, — в расчет можно не принимать. Собственные частоты элементов конструкции могут быть определены посредством:

- измерений отклика элементов туннеля в тот момент, когда они подвержены воздействию значительных переходных процессов, вызываемых, например, забивкой свай или взрывом;

- возбуждения синусоидальной вибрации вибровозбудителем с одновременным измерением амплитуды отклика.

Точное определение коэффициента демпфирования представляет собой сложную задачу, особенно для туннелей, которые имеют как элементы с малым демпфированием (например балки), так и элементы, находящиеся в жестком непосредственном контакте с поверхностью туннеля, излучающие в него энергию и, как следствие, обладающие большим демпфированием.

#### 4.1.3 Грунт

Грунт, окружающий туннель, оказывает значительное влияние на жесткость туннеля и его отклик на возбуждение. Поэтому влияние характеристик грунта следует принимать во внимание при расчетах прогнозируемой вибрации. Динамическое поведение грунта зависит от размеров его частиц, плотности, уровня подземных вод и уровня заложения туннеля, а также от амплитуды, частоты и продолжительности возбуждения.

### 4.2 Факторы, связанные с источником вибрации

Вибрация, создаваемая при прохождении поездов, может быть отнесена к одному из классов в зависимости от вида сигнала, его продолжительности и частотного диапазона (см. [1]).

Вид сигнала вибрации зависит от механических характеристик поезда, железнодорожного пути (далее — путь), контакта между колесами и рельсами, от массы и скорости движения поезда.

Частотный диапазон анализа зависит от распределения вдоль спектра вынуждающих сил и передаточной функции между источником вибрации и стенами или отделкой туннеля.

Частотные характеристики различных элементов туннеля укладываются в диапазон частот от 1 до 100 Гц.

## 5 Измеряемые параметры вибрации

Измеряемым параметром вибрации является ускорение или скорость.

В области низких частот предпочтительным является измерение скорости, в то время как для более высоких частот особенности измерительной аппаратуры могут потребовать использования в качестве измеряемого параметра вибрации ускорения.

## 6 Методы измерений

### 6.1 Расположение датчиков относительно железнодорожного пути

Рекомендуется выбирать для измерений прямой участок туннеля длиной по крайней мере 200 м. Датчики должны быть размещены в удалении от мест видимых нарушений сплошности

конструкции (больших трещин, участков просачивания воды, перевода стрелок и пересечения путей), если только целью исследований не является рассмотрение влияния этих факторов на вибрацию туннеля. Для измерений отклика конструкции туннеля датчики должны быть предпочтительно ориентированы в направлениях трех основных осей туннеля (одном вертикальном и двух горизонтальных, как показано на рисунке 1).

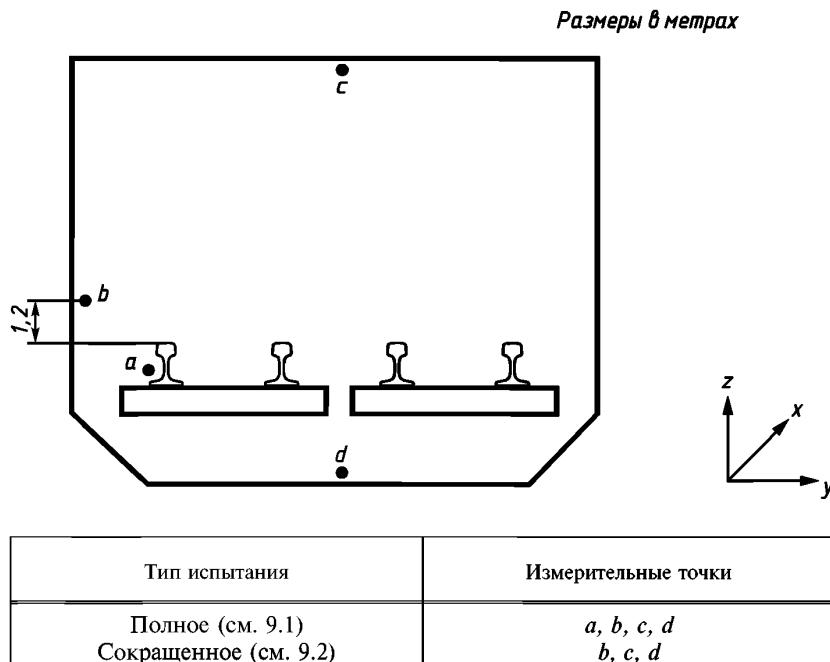


Рисунок 1 — Измерительные точки в плане поперечного сечения туннеля в зависимости от типа испытаний

Размещение измерительных точек на рисунке 1 дано в предположении, что поезд движется по левой колее.

Для проведения полных и сокращенных испытаний (см. 9.1 и 9.2) датчики должны быть установлены:

– на перевернутом своде в месте пересечения с вертикальной центральной линией в поперечной плоскости сечения (точка *d* на рисунке 1), между двумя шпалами, если рельсы положены на балластный слой, или между двумя последовательно идущими точками крепления (костылями) при других устройствах пути;

– на своде туннеля (точка *c* на рисунке 1) непосредственно над точкой *d*;

– на стене туннеля с той стороны, где движется поезд, на высоте 1,2 м над уровнем рельсов (точка *b* на рисунке 1).

Для того чтобы оценить соотношение между вибрацией поезда как источника возбуждения и вибрацией, передаваемой им на конструкцию туннеля, необходимо провести измерения на подошве рельса в плоскости, перпендикулярной к плоскости рельса (точка *a* на рисунке 1).

Вибрация в точке *a* подвержена влиянию локальных эффектов, поэтому, прежде чем выбрать эту точку в качестве контрольной при проведении сокращенных испытаний, необходимо убедиться в типичности и стабильности вибрации в этой точке.

При установке датчика следует принять во внимание наклон подошвы рельса (см. рисунок 2).

Если точка на перевернутом своде недоступна, датчик помещают в ближайшей подходящей точке с указанием всех элементов, расположенных между датчиком и точкой на перевернутом своде.

При проведении полных испытаний (см. 9.1) измерения проводят также в двух других сечениях, удаленных от среднего сечения обычно на 20 м, для того чтобы минимизировать влияние локальных

эффектов. Однако в случаях, когда сигнал, полученный в двух соответствующих точках в двух сечениях, отстоящих друг от друга на 20 м, одинаков, допускается проводить измерения только для одного сечения.

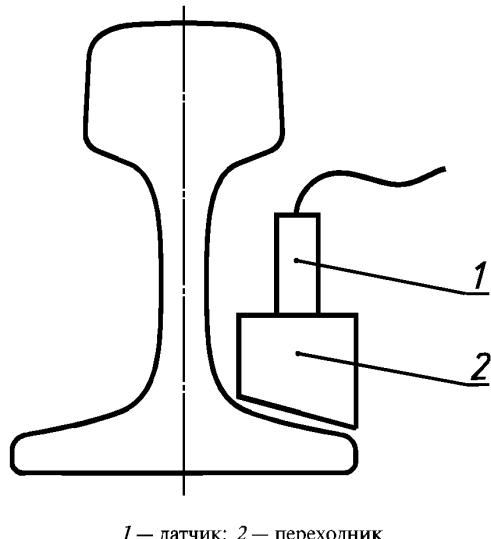
Если же между результатами этих измерений существует систематическое расхождение, превышающее 25 % (2 дБ), их отбрасывают и рассматривают вибрацию в третьем сечении.

В случае расхождения результатов, полученных во всех трех сечениях, следует проверить влияние, которое оказывают на эти результаты локальные условия измерений, и выбрать другие сечения для проведения измерений.

## 6.2 Крепление датчиков

Датчики должны быть установлены таким образом, чтобы влияние системы крепления на вибрацию элементов конструкции было минимальным (см. ГОСТ Р ИСО 5348). Для выполнения данного требования крепление датчиков должно быть максимально жестким и легким.

При креплении датчика на подошву рельса между ней и датчиком помещают стальной переходник, устанавливаемый на рельс так, чтобы обеспечить максимальную жесткость соединения (желательно, сваркой). Этот переходник обеспечивает перпендикулярность измерительной оси датчика к подошве рельса (см. рисунок 2).



1 — датчик; 2 — переходник

Рисунок 2 — Точка измерения на подошве рельса

составляет от двух до трех ( $6 \text{ дБ} \leq \text{С/Ш} \leq 10 \text{ дБ}$ ), в результате измерений необходи-  
мо внести поправку, о чем должна быть сделана отметка в протоколе испытаний.

Если сигнал превышает шум менее чем в два раза ( $\text{С/Ш} < 6 \text{ дБ}$ ), результаты измерений не являются достоверными и могут быть только приняты к сведению.

## 7 Средства измерений

С точки зрения корректности оценки вибрации весьма важным моментом является выбор датчиков [1]. Его следует делать с учетом того, какой параметр вибрации должен быть измерен, а также с учетом амплитудного и частотного (см. 4.2) диапазонов измерений и воздействия факторов среды, в которой датчик должен работать.

Особенно важны амплитудная и фазовая характеристики датчика и передаточная функция интегратора, разброс в значениях которых может привести к получению различных результатов для одного и того же входного вибрационного воздействия.

При измерениях вибрации рельсов применяют, как правило, акселерометры, а в других измерительных точках могут быть использованы датчики скорости с собственной частотой ниже минимальной частоты диапазона измерений.

Калибровку измерительной цепи следует проводить до и после серии измерений, и по крайней мере каждые 2 года элементы измерительной цепи должны проходить поверку в аккредитованной лаборатории с получением соответствующего сертификата.

Все измеренные значения составляющих сигнала виброскорости (в миллиметрах в секунду) вместе с их частотами (в герцах) должны быть отражены в протоколе испытаний. Если виброскорость измеряют в децибелах, в качестве опорного значения следует принять  $10^{-6}$  мм/с<sup>1)</sup>.

При необходимости сравнения результатов, полученных с помощью датчика скорости и акселерометра, для последнего должно быть осуществлено интегрирование — желательно в цифровом виде. Аналоговое интегрирование, например посредством фильтра низких частот, может привести к разбросу получаемых результатов, который будет зависеть от значений амплитуд и фаз составляющих исходного сигнала, а также передаточной функции интегратора.

Если ускорение измеряют в децибелах, опорное значение должно быть равно  $10^{-6}$  м/с<sup>2</sup>. Рекомендуется указывать, какое значение взято в качестве опорного.

## 8 Свойства источников вибрации

### 8.1 Состояние пути

При проведении испытаний в соответствии с 9.1 и 9.2 путь должен быть в хорошем состоянии, без видимых трещин и волнистости.

### 8.2 Состояние проходящего поезда

При проведении испытаний в соответствии с 9.1 и 9.2 транспортное средство должно быть в хорошем состоянии. В частности, на колесах должны отсутствовать выбоины и другие видимые повреждения. В транспортном средстве не должно быть пассажиров и грузов; внутри него должны находиться только машинист и члены экипажа, участвующие в испытаниях. Состав транспортного средства должен быть тем же, что и при обычном использовании. Скорость пассажирских поездов должна быть следующей:

- 11 м/с (40 км/ч) — для трамвайных вагонов;
- 17 м/с (60 км/ч) — для поездов метро;
- 22 м/с (80 км/ч) — для скоростных поездов;
- максимально допустимая скорость для данного участка туннеля.

Измерения вибрации в процессе испытаний производят при движении транспортного средства на холостом ходу, за исключением последнего условия (испытания на максимальной скорости).

## 9 Типы испытаний

Испытания бывают двух типов: полные и сокращенные.

Для испытаний любого типа при записи уровней вибрации с помощью аналоговых приборов время интегрирования должно составлять 1 с.

### 9.1 Полные испытания

Назначение испытаний данного вида — проверка того, что характеристики туннеля не выходят за заданные пределы. Кроме того, в ходе таких испытаний проверяют эффект внесения каких-либо изменений в конструкцию туннеля или транспортного средства. Испытания данного вида позволяют получить полную информацию, необходимую для анализа динамического поведения конструкции.

В данных испытаниях:

- измерения проводят в трех сечениях, отстоящих друг от друга на 20 м, как установлено в 6.1;
- используют три датчика для измерений вдоль каждой оси прямоугольной системы координат (см. рисунок 1) или трехкомпонентный датчик для каждой измерительной точки (см. 6.1);
- измерения вибрации проводят для, как минимум, трех прохождений поезда в одном направлении;
- при использовании аналоговых средств измерений регистрируют максимальное из средних квадратических значений виброскорости, которые получены для времени интегрирования 1 с;

<sup>1)</sup> Данное опорное значение отличается от того, что используется в стандартах, посвященных оценке воздействия вибрации на человека (см. ГОСТ 12.1.012). Во избежание недоразумений рекомендуется всегда указывать, какое именно значение взято в качестве опорного.

- результаты считают достоверными, если полученные три средних квадратических значения общей вибрации различаются не более чем на 11 % (1 дБ), а для измерений в узких полосах частот — не более чем на 40 % (3 дБ); после этого значения каждого компонента виброскорости  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$  получают как среднее арифметическое трех значений;

- значение отношения сигнал/шум (см. 6.3) для общей вибрации должно превышать 10 дБ, а для измерений в узких полосах частот должно быть не менее 6 дБ для каждой полосы;

- измерения вибрации проводят в трех ортогональных направлениях.

## 9.2 Сокращенные испытания

Сокращенные испытания проводят в целях контроля заданных характеристик; их выполняют периодически — через некоторые установленные интервалы времени.

В данных испытаниях:

- измерения проводят только в одном сечении;

- в каждой измерительной точке устанавливают только один датчик, расположенный перпендикулярно к соответствующей плоскости (см. 6.1);

- как правило, достаточно только наблюдения временной формы сигнала вибрации;

- отношение сигнал/шум должно быть не менее 6 дБ (см. 6.3);

- измерения вибрации проводят для, как минимум, трех прохождений поезда; результаты измерений считают достоверными, если полученные значения различаются не более чем на 3 дБ, после чего находят среднее арифметическое и округляют его до целого значения (в децибелах).

На результат данных испытаний могут оказывать влияние характеристики поезда. Хотя уже было установлено, что поезд должен находиться в хорошем техническом состоянии (см. 8.2), тем не менее следует обеспечить измерения в «контрольном» сечении при малой интенсивности движения. Такое контрольное сечение следует использовать для сравнения со значениями виброскорости, полученными для данного же поезда одним-двумя годами ранее, с тем чтобы определить изменения, зависящие от состояния поезда, а не от состояния туннеля и пути.

Для экспериментальных путей интервал между испытаниями — 1 год в первые 5 лет и 2 года в последующие 6 лет.

## 10 Оценка результатов измерений

Самая простая оценка состоит в отметке максимального значения измеряемого параметра вибрации или максимального среднего значения, полученного для времени интегрирования 1 с (см. 9.1).

В особых случаях при определении требуемого параметра вибрации возможно прибегать к процедурам интегрирования или дифференцирования измеренного сигнала. Однако такие операции, выполненные с помощью цифровых или аналоговых систем, вносят собственные погрешности измерений, которые в ряде случаев трудно оценить в числовом выражении.

Одним из возможных решений является выполнение — по крайней мере в одной измерительной точке — одновременной записи двух параметров вибрации для последующей оценки качества проводимого интегрирования (или дифференцирования).

В случае сигналов сложной формы процедуру интегрирования следует выполнять с осторожностью и учитывать при этом формы амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик датчиков и измерительной цепи. В протоколе испытаний должны быть указаны применяемые методы обработки сигнала и их ограничения ([2]).

Временная форма сигнала соответствующей длительности должна быть измерена в трех ортогональных направлениях, если только экспериментально не будет доказано, что для решения поставленной задачи достаточно измерений в одном или двух направлениях.

В процессе полных испытаний обычно проводят анализ в третьоктавных полосах частот, а в особых случаях — в узких полосах частот с шириной полосы менее 1 Гц.

## 11 Протокол испытаний

В протокол испытаний следует включать информацию:

- место и дату проведения испытаний с указанием специалистов, участвовавших в их проведении;

- описание туннеля и конструкции пути;

- чертеж поперечного сечения туннеля с указанием размеров, на котором должны быть отмечены положения измерительных точек и пути;
- геотехнические данные грунта, в котором проложен туннель;
- положения и особенности крепления датчиков;
- тип и назначение испытаний;
- тип измерительной аппаратуры, дату ее изготовления и поверки;
- уровень фонового шума и отношение сигнал/шум;
- описание источника возбуждения вибрации (например скорость следования поезда, его состав и осевая нагрузка);
- уровни общей вибрации и вибрации в третьоктавных полосах (в зависимости от типа испытаний), предпочтительно в графическом виде с масштабом треть октавы — 5 мм, 10 дБ — 20 мм;
- максимальные значения скорости, мм/с, или ускорения, м/с<sup>2</sup>;
- если было проведено интегрирование сигнала, данные об исходном сигнале ускорения;
- постоянную интегрирования;
- при необходимости, ссылки на стандарты или другие документы, в которых установлены требования к вибрации, соответствие которым проверяли при проведении испытаний.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное)

### Примеры результатов измерений

Обычно при прохождении городских поездов вибрация имеет случайный, нестационарный характер и затухает в течение 10 с.

Ниже приведены данные из зарубежных источников, которые помогают оценить, какого порядка вибрация может наблюдаться при измерениях ее на стенах туннеля:

- метрополитен в Милане: от 0,01 до 0,08 мм/с в зависимости от вида пути, для сооружений в плохом техническом состоянии наблюдалась вибрация, превышающая 1 мм/с (см. [3]);

- метрополитен в Париже: от 0,01 до 0,03 мм/с (см. [4]).

Там же приведены данные об ослаблении вибрации на пути ее распространения:

- рельсы — перевернутый свод: от 20 до 40 дБ в зависимости от свойств пути;

- перевернутый свод — стены: от 10 до 20 дБ в зависимости от типа туннеля.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В (справочное)

### Библиография

[1] ИСО 4866—90 Вибрация и удар. Вибрация зданий. Руководство по измерению вибрации и оценке ее воздействия на здание

[2] Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. — М.: Мир, 1974. — 464 с.

[3] Capponi, G.F. Metropolitana di Milano — Attenuazione delle vibrazioni su armamenti sperimentali // *Ingegneria Ferroviaria*, April 1977

[4] ORE D 151 RP 8 / Rapport d'Office de recherches et d'essais de l'UIC, Utrecht

---

УДК 625.712.35:534.647.4:006.354

ОКС 17.160

Т34

ОКСТУ 0011

Ключевые слова: вибрация, туннели, измерения

---

Редактор *Л.В. Афанасенко*  
Технический редактор *В.Н. Прусакова*  
Корректор *В.И. Кануркина*  
Компьютерная верстка *Е.Н. Мартемьяновой*

Изд. лиц. № 021007 от 10.08.95. Сдано в набор 17.02.2000. Подписано в печать 18.02.2000. Усл. печ. л. 1,40.  
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 218 экз. С 4747. Зак. 259.

---

ИПК Издательство стандартов, 107076, Москва, Колодезный пер., 14.

Набрано в Издательстве на ПЭВМ

Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. “Московский печатник”, 103062, Москва, Лялин пер., 6.  
Плр № 080102