ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

МИКРОСХЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВХОДНОГО И ВЫХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

ГОСТ 23089.17—90

Издание официальное

БЗ 2—90/71

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО УПРАВЛЕНИЮ
КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.3.049.77.083:006.354 Группа Э29

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

МИКРОСХЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ

Методы измерения входного и выходного сопротивлений операционных усилителей

Integrated circuits. Methods of measuring input and output resistances of operational amplifiers

ГОСТ 23089.17—90

ОКП 62 3100

Срок действия с 01.07.91
до 01.07.96

Настоящий стандарт устанавливает методы измерения входного (дифференциального) сопротивления $R_{вх}$ и выходного сопротивления $R_{вых}$ операционных усилителей (далее — ОУ).

Общие требования и требования безопасности — по ГОСТ 23089.0.

1. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

1.1. Условия и режим измерений

1.1.1. Метод основан на двух измерениях отношения выходного напряжения ОУ к пропорциональному входному напряжению в суммирующей точке *с* при заданном значении частоты входного переменного напряжения при включении ОУ без добавочных резисторов во входных цепях и с включенными резисторами во входных цепях, а также последующим вычислением входного сопротивления ОУ.

1.1.2. Электрический режим и условия измерения должны соответствовать установленным в технических условиях (ТУ) на ОУ конкретных типов

1.2. Аппаратура

1.2.1. Измерения следует проводить на установке, электрическая структурная схема которой приведена на чертеже

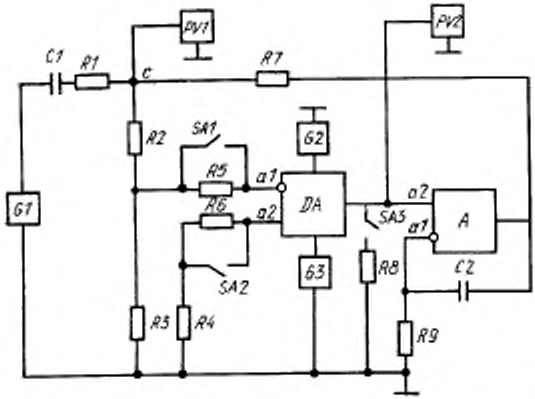
1.2.2. Сопротивления резистора ($R_3 = R_4$) в омах выбирают из условия

$$R_3 \leqslant 0{,}01\, R_{вх\,min}, \qquad (1)$$

Издание официальное ★

Перепечатка воспрещена

© Издательство стандартов, 1990



DA—проверяемый ОУ; *G1*—источник переменного напряжения; *G2* и *G3*—источники постоянного напряжения; *A*—вспомогательное устройство балансировки (ВУБ); *PV1*, *PV2*—измерители переменного напряжения; *R1*, *R7* суммирующие резисторы; *R2*, *R3*—резисторы входного делителя напряжения; *R4*—симметрирующий резистор; *R5*, *R6*—добавочные резисторы; *R8*—резистор нагрузки проверяемого ОУ, *R9*—входной резистор ВУБ, *C1* - разделительный конденсатор, *C2* — конденсатор цепи обратной связи ВУБ; *SA1*—*SA3*—устройства коммутации; *a1*—инвертирующий вход; *a2*—неинвертирующий вход; *c*—суммирующая точка

где $R_{вх\,min}$ — минимальное значение входного сопротивления проверяемого ОУ, Ом.

II.2.3. Сопротивления резисторов (R_1 R_7 и R_2) в омах выбирают из следующих условий

$$U_{см\,max} \cdot \frac{R_2+R_3+R_7}{R_3} \leqslant \frac{U'_{вых\,max}}{2}, \qquad (2)$$

где $U_{см\,max}$ — абсолютное максимальное значение напряжения смещения нуля проверяемого ОУ, В;

$U'_{вых\,max}$ — абсолютное максимальное значение выходного напряжения вспомогательного устройства балансировки *A*, В.

$$R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_{PV1}} + \frac{1}{R_2+R_3} + \frac{1}{R_7}} \geqslant R_{G1}, \qquad (3)$$

где R_{PV1} — входное сопротивление измерителя *PV1*, Ом;

R_{G1} — минимальное допустимое сопротивление нагрузки источника переменного напряжения *G1*, Ом.

$$R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_{PV1}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2 + R_3}} \geqslant 2R_н', \qquad (4)$$

где $R_н'$ — минимальное допустимое сопротивление нагрузки ВУБ, Ом.

1.2.4. Сопротивления резистора ($R_5 = R_6$) в омах выбирают из условия

$$R_5 = R_6 \approx R_{вх\ min}. \qquad (5)$$

Допустимое отклонение сопротивления резисторов R_5 и R_6 должно быть в пределах ±1 %.

1.2.5. Сопротивление резистора (R_8) в омах выбирают из условия

$$\frac{1}{R_8} = \frac{1}{R_н} - \frac{1}{R_{PV2}} - \frac{1}{R_A}, \qquad (6)$$

где $R_н$ — сопротивление нагрузки, установленное в ТУ на ОУ конкретных типов, Ом;

R_{PV2} — входное сопротивление измерителя *PV2* на частоте f_0, Ом;

R_A — входное сопротивление ВУБ на частоте f_0, Ом.

1.2.6. Сопротивление резистора (R_9) в омах выбирают из условия

$$R_9 \geqslant 2R_н'. \qquad (7)$$

1.2.7. Допустимые отклонения сопротивления резисторов R_1—R_4, R_7—R_9 должны быть в пределах ±0,5 %.

1.2.8. Источник переменного напряжения *G1* должен обеспечивать установление и поддержание на время измерения переменного напряжения синусоидальной формы U_1, установленного в ТУ на ОУ конкретных типов, с погрешностью в пределах ±3 %. Частоту (f_0) в герцах переменного напряжения источника *G1* выбирают из условия

$$f_0 < f_{срз}, \qquad (8)$$

где $f_{срз}$ — частота среза проверяемого ОУ, Гц.

Нестабильность по напряжению источника переменного напряжения *G1* за время измерения не должна превышать ±2 %.

Погрешность установления и поддержания частоты переменного напряжения источника *G1* должна находиться в пределах ±2 %.

1.2.9. Источники постоянного напряжения *G2* и *G3* должны обеспечивать установление и поддержание напряжения питания, установленного в стандартах или технических условиях на ОУ конкретных типов с погрешностью в пределах ±1 %.

1.2.10. Емкость конденсатора C_1 в фарадах выбирают из условия

$$\frac{1}{2\pi f_0 C_1} \leqslant 0{,}05\, R_1. \qquad (9)$$

Допустимое отклонение емкости конденсатора C_1 должно находиться в пределах ±10 %.

1.2.11. Емкость конденсатора C_2 в фарадах выбирают из условия

$$\frac{1}{2\pi f_0 C_2} \leqslant 0{,}05 R_9. \qquad (10)$$

Допустимое отклонение емкости конденсатора C_2 должно находиться в пределах ±10%.

1.2.12. Измеритель переменного напряжения *PV1* должен обеспечивать измерение напряжения в суммирующей точке *с* с погрешностью в пределах ±2 % на частоте f_0.

1.2.13. Измеритель переменного напряжения *PV2* должен обеспечивать измерение напряжения $U_{вых}$ на выходе проверяемого ОУ с погрешностью в пределах ±2 % на частоте f_0.

1.2.14. Коэффициент усиления ВУБ *A* без обратной связи на частоте f_0 должен удовлетворять условию

$$K'_{y_0} \geqslant 10, \qquad (11)$$

где K'_{y_0} — коэффициент усиления ВУБ *A* на частоте f_0.

ВУБ *A*, резистор R_9 и конденсатор C_2 исключают из схемы измерительной установки, если выполняется условие

$$U_{см\,max} \cdot \frac{R_2+R_3+R_7}{R_3} \leqslant 0{,}1 U_{вых\,max}, \qquad (12)$$

где $U_{вых\,max}$ — абсолютное максимальное значение выходного напряжения ОУ, В.

При этом выход проверяемого ОУ подсоединяют к правому по схеме выводу резистора R_7.

В этом случае значение сопротивления резистора R_8 в омах вместо условия (6) выбирают из условия

$$\frac{1}{R_8} = \frac{1}{R_н} - \frac{1}{R_{PV2}} - \frac{1}{R_7 + \dfrac{1}{\dfrac{1}{R_{PV1}} + \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_9+R_3}}}. \qquad (13)$$

1.2.15. Рекомендации по выбору приборов для автоматизированных измерений входного сопротивления ОУ приведены в приложении 1.

1.3. Подготовка и проведение измерений

1.3.1. Подключают ОУ к измерительной установке.

1.3.2. На ОУ подают напряжение питания от источников *G2* и *G3*.

1.3.3. При замкнутых устройствах коммутации *SA1*—*SA3* подают от источника *G1* переменное напряжение U_1 с частотой f_0.

1.3.4. Измеряют напряжение U'_c в суммирующей точке с измерителем *PV1* и напряжение $U'_{вых}$ на выходе ОУ измерителем *PV2*.

1.3.5. Размыкают устройства коммутации *SA1* и *SA2*.

1.3.6. Измеряют напряжение U''_c в суммирующей точке *c* измерителем *PV1* и напряжение $U''_{вых}$ на выходе ОУ измерителем *PV2*.

1.4. Обработка результатов

1.4.1. Значение входного сопротивления $R_{вх}$ в омах рассчитывают по формуле

$$R_{вх}=\frac{2R_5}{\frac{U'_{вых}\cdot U''_c}{U'_c\cdot U''_{вых}}-1}, \qquad (14)$$

1.5. Показатели точности измерений

1.5.1. Показатели точности измерения входного сопротивления проверяемого ОУ должны соответствовать установленным в ТУ на ОУ конкретных типов.

Интервал, в котором с установленной вероятностью 0,997 находится погрешность измерения, рассчитывают по формулам, приведенным в приложении 2.

2. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЫХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

2.1. Условия и режим измерения

2.1.1. Метод основан на двух измерениях отношения выходного напряжения ОУ к пропорциональному входному напряжению в суммирующей точке *c* при заданном значении частоты входного переменного напряжения при включении ОУ без резистора нагрузки и с включенным резистором нагрузки, а также последующим вычислением выходного сопротивления ОУ.

2.1.2. Электрический режим и условия измерения должны соответствовать установленным в ТУ на ОУ конкретных типов.

2.2. Аппаратура

2.2.1. Измерения следует проводить на установке, электрическая структурная схема которой приведена на чертеже (см. п. 1.2.1).

2.2.2. Сопротивления резисторов R_1—R_6, R_7 и R_9 в омах должны удовлетворять требованиям пп. 1.2.2—1.2.4 и 1.2.6, 1.2.7.

2.2.3. Резисторы R_5 и R_6 и устройства коммутации *SA1* и *SA2* исключают из схемы измерительной установки в случае измерения только выходного сопротивления ОУ. При этом соединяют вход a_1 проверяемого ОУ с точкой соединения резисторов R_2 и R_3, а вход a_2 — с резистором R_4.

2.2.4. Сопротивление резистора R_8 в омах выбирают из условия

$$R_8 \approx R_{\text{вых max}}, \qquad (15)$$

где $R_{\text{вых max}}$ — максимальное значение выходного сопротивления ОУ, Ом.

Допустимое отклонение сопротивления резистора R_8 должно быть в пределах ±0,5 %.

2.2.5. Источник переменного напряжения *G1* должен обеспечивать установление и поддержание на время измерения значений переменного напряжения синусоидальной формы U_1 с погрешностью в пределах ±3 % на частоте f_0.

Значение переменного напряжения (U_1) в вольтах выбирают из условия

$$U_1 \leqslant R_8 I_{\text{вых max}}, \qquad (16)$$

где $I_{\text{вых max}}$ — максимальный допустимый ток нагрузки проверяемого ОУ, А.

Частота f_0 должна удовлетворять условию (8).

2.2.6. Источники постоянного напряжения *G2* и *G3* должны удовлетворять требованиям п. 1.2.9.

2.2.7. Емкости конденсаторов C_1 и C_2 должны удовлетворять требованиям пп. 1.2.10 и 1.2.11.

2.2.8. Измерители переменного напряжения *PV1* и *PV2* должны удовлетворять требованиям пп. 1.2.12 и 1.2.13. Входное сопротивление измерителя *PV2* должно удовлетворять дополнительному условию

$$R_{\text{вх } PV2} > 200 R_{\text{вых max}} \qquad (17)$$

где $R_{\text{вх } PV2}$ — входное сопротивление измерителя *PV2* на частоте f_0, Ом.

2.2.9. Вспомогательный усилитель балансировки *A* должен удовлетворять требованиям п. 1.2.14.

Входное сопротивление ВУБ *A* должно удовлетворять дополнительному условию

$$R_A > 200 R_{\text{вых max}}, \qquad (18)$$

где R_A — входное сопротивление ВУБ на частоте f_0, Ом.

При исключении ВУБ, резистора R_9 и конденсатора C_2 из схемы измерительной установки требования п. 2.2.4 к сопротивлению резистора R_8 не изменяются

2.2.10. Рекомендации по выбору приборов для автоматизированных измерений выходного сопротивления ОУ приведены в приложении 4.

2.3. Подготовка к проведению измерений

2.3.1. Подключают ОУ к измерительной установке.

2.3.2. На ОУ подают напряжение питания от источников *G2* и *G3*.

2.3.3. От источника *G1* подают переменное напряжение U_1 с частотой f_0 при замкнутых устройствах коммутации *SA1*, *SA2* и разомкнутом *SA3*.

2.3.4. Измеряют напряжение U'_c в суммирующей точке *c* измерителем *PV1* и напряжение $U'_{вых}$ на выходе ОУ измерителем *PV2*.

2.3.5. Замыкают устройство коммутации *SA3*.

2.3.6. Измеряют напряжение U''_c в суммирующей точке *c* измерителем *PV1* и напряжение $U''_{вых}$ на выходе ОУ измерителем *PV2*.

2.4. Обработка результатов измерений

2.4.1. Значение выходного сопротивления ОУ ($R_{вых}$) в омах рассчитывают по формуле

$$R_{вых}=R_8\left(\frac{U'_{вых}\cdot U''_c}{U'_c\cdot U''_{вых}}-1\right) \qquad (19)$$

2.5. Показатели точности измерения

2.5.1. Показатели точности измерения выходного сопротивления проверяемого ОУ должны соответствовать установленным в ТУ на ОУ конкретных типов.

Интервал, в котором с установленной вероятностью 0,997 находится погрешность измерения, рассчитывают по формулам, приведенным в приложении 2.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Рекомендуемое

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПРИБОРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВХОДНОГО И ВЫХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ ОУ

В качестве измерителей *PV1* и *PV2*, а также источника переменного напряжения *G1* рекомендуется применять приборы, имеющие выход на шину IEEE 488. Для автоматизированного измерения входного и выходного сопротивлений ОУ рекомендуется применять следующие типы приборов: В3—63, В7—34, Г3—119, Г3—122 или аналогичные.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Рекомендуемое

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВХОДНОГО И ВЫХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ

1. Составляющие погрешности измерения

1.1. Погрешность (δ_1), вызванную неточностью установления и поддержания переменного напряжения источника *G1*, определяют по формуле

$$\delta_1 = \delta U_{G1}, \tag{20}$$

где δU_{G1} — относительная погрешность установления и поддержания переменного напряжения источника *G1*

1.2. Погрешность (δ_2), вызванную неточностью установления и поддержания частоты переменного напряжения источника *G1* для метода 1, рассчитывают по формуле

$$\delta_2 = \frac{\Delta R_{\text{вх}\,1}}{R_{\text{вх min}}}, \tag{21}$$

где $\Delta R_{\text{вх}1}$ — значение изменения входного сопротивления, вызванное неточностью установления и поддержания частоты переменного напряжения, Ом;

$R_{\text{вх min}}$ — минимальное значение входного сопротивления проверяемого ОУ, Ом

1.3. Погрешность (δ_3), вызванную неточностью установления и поддержания частоты переменного напряжения источника *G1* для метода 2, рассчитывают по формуле

$$\delta_3 = \frac{\Delta R_{\text{вых}\,1}}{R_{\text{вых min}}}, \tag{22}$$

где $\Delta R_{\text{вых}1}$ — значение изменения выходного сопротивления, вызванное неточностью установления и поддержания частоты переменного напряжения, Ом.

$R_{вых\ min}$ — минимальное значение выходного сопротивления проверяемого ОУ, Ом.

1.4 Погрешность (δ_4), вызванную неточностью установления и поддержания напряжения питания ОУ при измерении входного сопротивления, рассчитывают по формуле

$$\delta_4 = \frac{\Delta R_{вх\,2}}{R_{вх\,min}}, \qquad (23)$$

где $\Delta R_{вх2}$ — значение изменения входного сопротивления, вызванное неточностью установления и поддержания напряжения питания ОУ, Ом.

1.5. Погрешность (δ_5), вызванную неточностью установления и поддержания напряжения питания ОУ при измерении выходного сопротивления, рассчитывают по формуле

$$\delta_5 = \frac{\Delta R_{вых\,2}}{R_{вых\,min}}, \qquad (24)$$

где $\Delta R_{вых2}$ — значение изменения выходного сопротивления, вызванное неточностью установления и поддержания напряжения питания ОУ, Ом.

1.6. Погрешность (δ_6), вызванную конечным значением коэффициента усиления схемы включения ОУ с отрицательной обратной связью $K_{у.u\,oc}$ при измерении входного сопротивления, рассчитывают по формуле

$$\delta_6 = \frac{\Delta R_{вх\,3}}{R_{вх\,min}}, \qquad (25)$$

где $\Delta R_{вх3}$ — значение изменения входного сопротивления, вызванное конечным значением коэффициента усиления схемы включения ОУ, Ом.

1.7. Погрешность (δ_7), вызванную конечным значением коэффициента усиления $K_{у.u\,oc}$ схемы включения ОУ при измерении выходного сопротивления, рассчитывают по формуле

$$\delta_7 = \frac{\Delta R_{вых\,3}}{R_{вых\,min}}, \qquad (26)$$

где $\Delta R_{вых3}$ — значение изменения выходного сопротивления, вызванное конечным значением коэффициента усиления схемы включения ОУ, Ом.

1.8. Погрешность (δ_8), вызванную отклонением сопротивления нагрузки $R_н$ проверяемого ОУ при измерении входного сопротивления, рассчитывают по формуле

$$\delta_8 = \frac{\Delta R_{вх\,4}}{R_{вх\,min}}, \qquad (27)$$

где $\Delta R_{вх4}$ — значение изменения входного сопротивления, вызванное отклонением сопротивления нагрузки проверяемого ОУ, Ом.

1.9 Погрешность (δ_9), вызванную допустимым отклонением сопротивления добавочных резисторов R_5 и R_6, рассчитывают по формуле

$$\delta_9 = 2\delta R, \qquad (28)$$

где δR — допустимое отклонение сопротивления резисторов R_5 и R_6.

1.10. Погрешность (δ_{10}), вызванную допустимым отклонением резистора R_8, рассчитывают по формуле

$$\delta_{10}=\delta R, \tag{29}$$

где δR — допустимое отклонение сопротивления резистора R_8.

1.11. Погрешность (δ_{11}), вызванную конечным значением входного сопротивления измерителя *PV2*, рассчитывают по формуле

$$\delta_{11}=\frac{R_8}{R_{вх\ PV2\ min}}, \tag{30}$$

где $R_{вх\ PV2\ min}$ — минимальное значение входного сопротивления измерителя *PV2*, Ом.

1.12. Погрешность (δ_{12}), вызванную конечным значением входного сопротивления ВУБ *A*, рассчитывают по формуле

$$\delta_{12}=\frac{R_8}{R_{вх\ A}}, \tag{31}$$

где $R_{вх\ A}$ — входное сопротивление ВУБ *A*, Ом.

1.13. Погрешность (δ_{13}), вызванную шумовыми параметрами проверяемого ОУ, определяют экспериментально статистической обработкой результатов измерений конкретных типов ОУ.

1.14. Погрешность (δ_{14}), вызванную погрешностью измерителя *PV1*, рассчитывают по формуле

$$\delta_{14}=\delta_{PV1}, \tag{32}$$

где δ_{PV1} — относительная погрешность измерителя переменного напряжения *PV1*.

1.15. Погрешность (δ_{15}), вызванную погрешность измерителя *PV2*, рассчитывают по формуле

$$\delta_{15}=\delta_{PV2}, \tag{33}$$

где δ_{PV2} — относительная погрешность измерителя переменного напряжения *PV2*.

2. Погрешность измерения

2.1. Интервал ($\delta_{\Sigma I}$), в котором с установленной вероятностью находится погрешность измерения входного сопротивления ОУ, рассчитывают по формуле

$$\delta_{\Sigma I}=\pm K_\Sigma \sqrt{\left(\frac{\delta_1}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_2}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_4}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_6}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta_8}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta_9}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_{12}}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_{15}}{K_1}\right)^2}, \tag{34}$$

где K_Σ — коэффициент, зависящий от закона распределения погрешности измерения и установленной вероятности P_Σ. $K_\Sigma=2{,}97$ для нормального закона распределения и $P_\Sigma=0{,}997$;

K_1, K_2 — коэффициенты, зависящие от законов распределения частных погрешностей. Для частной погрешности с нормальным законом рас-

пределения $K_1=2{,}97$. Для частной погрешности с равномерным законом распределения $K_2=1{,}72$.

2.2 Интервал, в котором с установленной вероятностью находится погрешность измерения выходного сопротивления ОУ, рассчитывают по формуле

$$\delta_{\Sigma 2}=\pm K_{\Sigma}\sqrt{\left(\frac{\delta_3}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_4}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_6}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_7}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta_{10}}{K_2}\right)^2+}$$

$$+\left(\frac{\delta_{11}}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta_{12}}{K_2}\right)^2+\left(\frac{\delta_{13}}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_{14}}{K_1}\right)^2+\left(\frac{\delta_{15}}{K_1}\right)^2 . \qquad (35)$$

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. РАЗРАБОТЧИКИ

   А. К. Атанасян, А. В. Бильштейн, В. А. Зайко, М. Н. Коробкова, Е. Г. Татевосян, И. А. Туманова

2. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 30.03.90 № 698

3. Срок проверки — 1995 г. Периодичность проверки — 5 лет

4. В стандарт введен международный стандарт МЭК 748—3—86

5. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

6. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта
ГОСТ 23089.0—78	Вводная часть

Редактор *Т. С. Шеко*
Технический редактор *Г. А. Теребинкина*
Корректор *В. С. Черная*

Сдано в наб. 26.04.90 Подп. в печ. 02.07.90 1,0 усл. п. л. 1,0 усл. кр.-отт.
Тир. 10 000 Цена 15 к

gost.e-ecolog.ru

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 1834