МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ СТРОЯЩИХСЯ ТОННЕЛЕЙ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Москва 1985

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УТВЕРЖДАЮ
Зам.директора института
Б.А.БОНДАРОВИЧ
"23"сентября 1985г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ СТРОЯЩИХСЯ ТОННЕЛЕЙ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Одобрены Главтоннельметростроем

Москва 1985

УДК 534.83

© Всесоюзный ордена Октябрьской Революции
научно-исследовательский институт
транспортного строительства, 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Методические рекомендации разработаны в развитие СНиП 11-12-77 "Защита от шума" и предназначены для проектных организаций отрасли.

В основу Методических рекомендаций положены результаты экспериментальных научно-исследовательских работ ЦНИИСа и теоретических исследований, выполненных в Акустическом институте им. Н.Н.Андреева АН СССР [1-4].

Эксперименты показали высокую акустическую эффективность глушителей в виде цепочек резонаторов оптимальной длины и глушителей с гофрированной стенкой, достигающую 40 дБ на длину волны в широком заданном интервале частот, что подтвердило результаты расчетов. Оптимизированные параметры этих глушителей выгодно отличают их от серийно выпускаемых глушителей шума вентиляторов с электрическим и пневматическим приводами.

В Методических рекомендациях приведены общие положения, алгоритмы и примеры расчета геометрических размеров, а также таблицы характерных параметров глушителей для типовых радиусов воздуховодов.

Методические рекомендации разработали канд.техн. наук И.Я.Дорман и инж. И.К.Исаев.

И.О.зав.отделением вычислительной техники, методов исследований и испытаний конструкций и материалов

Е.Г.Игнатьев

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Методические рекомендации следует использовать при расчете низкочастотных глушителей шума (интервал частот от 63 до 500 Гц) осевых вентиляторов систем вентиляции строящихся тоннелей и метрополитенов[1].

1.2. Необходимо устанавливать два глушителя на вентилятор: на всасывании и на нагнетании.

1.3. Рекомендуется использовать два типа глушителей: глушитель в виде цепочки резонаторов оптимальной длины и глушитель с гофрированной стенкой.

1.4. Глушитель в виде цепочки резонаторов оптимальной длины рекомендуется использовать в интервале частот, ограниченном снизу частотой 63 Гц, а сверху частотой F_i, Гц, которая вычисляется по формуле

$$F_i = 0{,}38\,c/R, \qquad (1)$$

где c – скорость звука в воздухе, c = 333 м/с;
R – радиус воздуховода, м.

1.5. Глушитель с гофрированной стенкой рекомендуется использовать в интервале частот, ограниченном снизу частотой $F_i \geqslant 400$ Гц, а сверху частотой F_j, Гц, которая вычисляется по формуле

$$F_j = n z, \qquad (2)$$

где n – число оборотов рабочего колеса вентилятора, с;
z – число лопастей рабочего колеса.

Она является частотой первой гармоники в спектре шума вентилятора.

---

[1] В справочном приложении 1 даны таблицы значений пространственного коэффициента поглощения звука в воздухе в зависимости от температуры, относительной влажности и частоты. Этими таблицами можно пользоваться для ориентировочного расчета минимально возможного затухания шума в тоннеле.

1.6. Выбор конкретных типов глушителей определяется соотношением частот F_i и F_j (см. пп. 1.4, 1.5).

Если $F_j > F_i$, то рекомендуется использовать оба типа глушителей в виде многоступенчатой последовательной конструкции: первая ступень состоит из глушителей в виде цепочек резонаторов оптимальной длины в интервале частот от 63 до F_i, Гц (как правило, это одна или две цепочки соответственно на одну октаву 63-125 Гц или на две октавы 63-125 и 125-250 Гц), а вторая ступень - глушитель с гофрированной стенкой на частоте F_j, Гц (рис. 1).

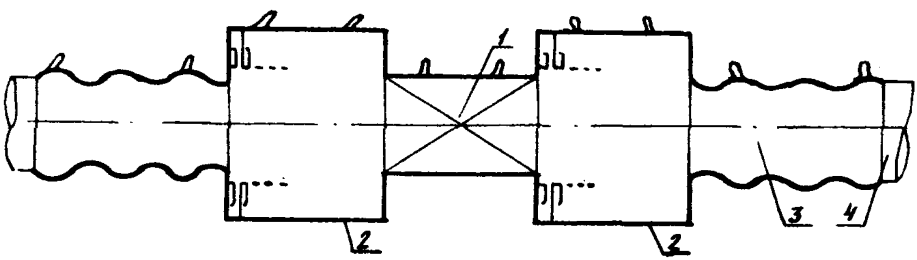

Рис. 1. Многоступенчатая конструкция глушителя: 1 - вентилятор; 2 - секция глушителя в виде цепочки резонаторов оптимальной длины; 3 - секция глушителя с гофрированной стенкой; 4 - воздуховод

Если $F_j < F_i$, то достаточно использовать только один или два глушителя в виде цепочек резонаторов оптимальной длины.

1.7. Минимальная акустическая эффективность глушителей обоих типов должна составлять 15 дБ, максимальная акустическая эффективность глушителей, приведенная в Методических рекомендациях, составляет 40 дБ, хотя принципиальных ограничений сверху на нее не накладывается.

1.8. Звукоизоляция стенок обоих типов глушителей должна быть не менее акустической эффективности глушителей.

1.9. Конструкции глушителей обоих типов должны быть герметичными и несущими, должны иметь отверстия с болтами для удаления пыли, а также приспособления для захвата глушителей подъемными средствами и подвески к кровле выработки.

1.10. Конструкции глушителей обоих типов должны иметь переходные устройства для соединения с вентиляторами и воздуховодами, включающие виброизолирующие прокладки.

1.11. Стенки глушителей рекомендуется выполнять слоистыми (рис. 2). Первый слой - собственно глушитель - из коррозионно-стойких металлов или (и) стеклопластиков. Второй слой - внешний - из металлической фольги, подкрепленной металлической лентой. Между первым и вторым слоем рекомендуется засыпать песок.

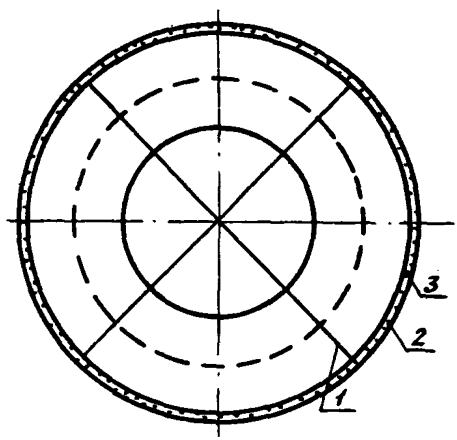

Рис. 2. Слоистая конструкция стенок глушителя:
1 - глушитель; 2 - внешний слой; 3 - песок

2. РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ГЛУШИТЕЛЕЙ

2.1. Расчет геометрических размеров глушителей в виде цепочек резонаторов оптимальной длины (рис.3) выполняют в соответствии с алгоритмом и примером, приведенным в обязательном приложении 2.

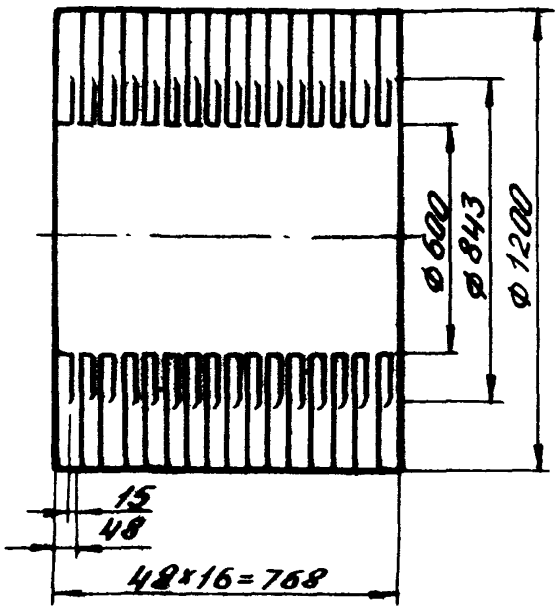

Рис. 3. Секция глушителя в виде цепочки резонаторов оптимальной длины

2.2. В табл. 1 даны геометрические размеры глушителей в виде цепочек резонаторов оптимальной длины с акустической эффективностью 15, 20, 25, 30, 35, 40 дБ и внутренними радиусами 0,20; 0,25; 0,30; 0,40 м.

Таблица I

Геометрические размеры глушителей в виде цепочки резонаторов оптимальной длины, обладающих максимальным аэродинамическим сопротивлением 100 Па

Радиус глушителя, м		Интервал частот, Гц	Длина глушителя, м (числитель) и число резонаторов, шт. (знаменатель) при эффективности глушителя, дБ						Длина резонатора, м	Горлышко резонатора, м	
внутренний	внешний		15	20	25	30	35	40		длина	ширина
0,20	0,4	125-250	0,518/7	0,592/8	0,740/10	0,888/12	1,036/14	1,110/15	0,074	0,1	0,01
0,25	0,5	63-125	1,185/5	1,422/6	1,659/7	1,896/8	2,133/9	2,370/10	0,237	0,125	0,0125
		125-250	0,531/9	0,649/11	0,767/13	0,885/15	1,003/17	1,121/19	0,059		
0,30	0,6	63-125	0,990/5	1,188/6	1,584/8	1,78/9	1,980/10	2,178/11	0,198	0,15	0,015
		125-250	0,500/10	0,650/13	0,750/15	0,90/18	1,000/20	1,150/23	0,050		
0,40	0,8	63-125	1,036/7	1,332/9	1,480/10	1,776/12	2,072/14	2,220/15	0,148	0,2	0,02
		125-250	0,518/14	0,629/17	0,740/20	0,888/24	0,999/27	1,110/30	0,037		

2.3. Расчет геометрических размеров глушителей с гофрированной стенкой (рис. 4) выполняется в соответствии с алгоритмом и примером, приведенным в обязательном приложении 3.

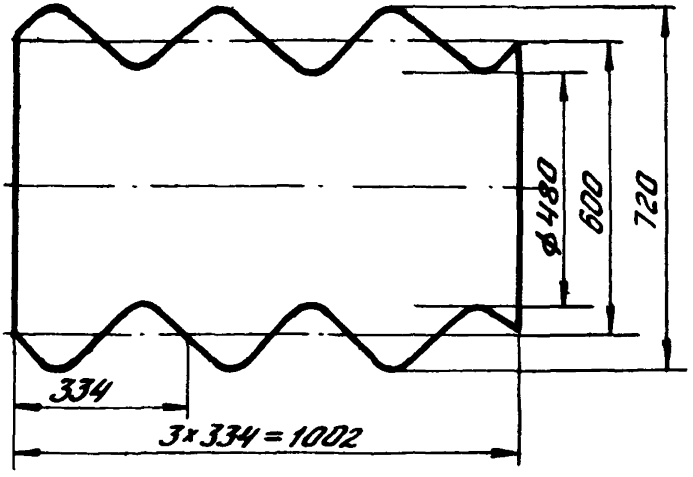

Рис. 4. Секция глушителя с гофрированной стенкой

2.4. В табл. 2 даны геометрические размеры глушителей с гофрированной стенкой с акустической эффективностью 15, 20, 25, 30, 35, 40 дБ и радиусами срединных поверхностей 0,20; 0,25; 0,30; 0,40 м.

2.5. При выполнении стенок глушителей слоистыми толщина слоя песчаной засыпки должна быть не менее 0,025 м.

Таблица 2

Геометрические размеры глушителя с гофрированной стенкой при периоде гофр 0,334 м и частоте F_j = 500 Гц, обладающего максимальным аэродинамическим сопротивлением 20 Па

Радиус срединной поверхности глушителя, м	Эффективность глушителя, дБ	Длина глушителя, м	Число гофр	Высота (глубина) синусоидальных гофр, м
0,20	I5-20	0,668	2	0,04
	25-30	I,002	3	
	35-40	I,336	4	
0,25	I5-20	0,668	2	0,05
	25-30	I,002	3	
	35-40	I,336	4	
0,30	I5-20	0,668	2	0,06
	25-30	I,002	3	
	35-40	I,336	4	
0,40	I5-20	0,668	2	0,08
	25-30	I,002	3	
	35-40	I,336	4	

Приложение I
Справочное

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ, дБ/100 м

(октавный спектральный анализ, указаны значения ≥ I дБ/100 м)

Частота, Гц	Температура, °С														
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
						Относительная влажность 60%									
1000	-	-	-	1,3	1,2	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	1,2	2,2	2,9	2,6	2,1	1,6	1,2	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6
4000	-	1,0	1,8	3,2	5,3	6,6	5,7	4,6	3,6	2,9	2,5	2,5	2,7	3,0	3,3
8000	1,2	1,8	2,7	4,5	7,6	11,3	13,1	10,9	8,9	7,2	5,8	5,2	5,2	5,7	6,2
						Относительная влажность 70%									
1000	-	-	1,0	1,3	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	1,4	2,5	2,9	2,3	1,8	1,3	1,1	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6
4000	-	1,2	2,1	3,7	5,7	6,3	5,1	4,0	3,1	2,5	2,3	2,5	2,7	3,0	3,3
8000	1,3	1,9	3,1	5,2	8,8	11,8	11,6	9,6	7,6	6,1	5,2	4,9	5,2	5,7	6,2
						Относительная влажность 80%									
1000	-	-	1,1	1,3	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	1,7	2,6	2,6	2,1	1,5	1,2	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6
4000	-	1,3	2,4	4,3	5,9	5,6	4,5	3,5	2,7	2,3	2,3	2,5	2,7	3,0	3,3
8000	1,4	2,1	3,4	6,0	9,7	12,0	10,5	8,5	6,7	5,4	4,8	4,8	5,2	5,7	6,2

Частота, Гц	Температура, °С														
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
						Относительная влажность 90%									
1000	-	-	1,2	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	1,0	1,9	2,7	2,4	1,8	1,3	1,0	-	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6
4000	-	1,5	2,7	4,7	6,0	5,1	4,0	3,1	2,4	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,3
8000	1,5	2,3	3,8	6,7	10,3	11,7	9,6	7,6	6,0	4,9	4,5	4,8	5,2	5,7	6,2
						Относительная влажность 100%									
1000	-	-	1,2	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	1,1	2,1	2,7	2,2	1,6	1,2	-	-	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6
4000	-	1,6	3,0	5,0	5,9	4,7	3,6	2,7	2,2	2,1	2,3	2,5	2,7	3,0	3,3
8000	1,6	2,5	4,3	7,4	10,7	10,8	8,7	6,8	5,4	4,5	4,4	4,8	5,2	5,7	6,2

Приложение 2
Обязательное

АЛГОРИТМ И ПРИМЕР РАСЧЕТА ГЛУШИТЕЛЯ В ВИДЕ ЦЕПОЧКИ РЕЗОНАТОРОВ ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ

1. Исходные данные:

R – внутренний радиус глушителя, м;

C – скорость звука в воздухе, C =333 м/с;

ΔF – интервал частот акустической эффективности глушителя, Гц;

F_B – верхняя граничная частота интервала частот, Гц;

N – акустическая эффективность глушителя, дБ.

2. Назначают внешний радиус глушителя $R^* = 2R$ [1].

3. Вычисляют длину звуковой волны λ на верхней граничной частоте выбранного интервала частот $\lambda = C/F_B$.

4. Назначают акустическую эффективность глушителя равной 15; 20; 25; 30; 35 или 40 дБ.

5. Вычисляют оптимальную длину глушителя

$$L_{опт} = \lambda (N + 6) \cdot 1{,}83 \cdot 10^{-2}.$$

6. Назначают длину горлышка единичного резонатора $\ell = 0{,}5R$.

7. Назначают ширину горлышка единичного резонатора $\delta = \ell/10$.

8. Вычисляют площадь сечения горлышка единичного резонатора

$$S = 2\pi R\delta, \quad \pi = 3{,}14.$$

---

[1] Внешний радиус глушителя R^* в стесненных условиях, например, при проходке штолен, может быть назначен менее $2R$, что несколько изменит интервал частот акустической эффективности глушителя.

9. Вычисляют эффективную длину горлышка единичного резонатора $l' = R \cdot 0{,}405$.

10. Вычисляют объем единичного резонатора

$$\Omega = Sc^2/(\sigma F_в)^2 l'.$$

11. Вычисляют число резонаторов в цепочке

$$q_y = 9{,}42 R^2 L/\Omega .$$

12. Вычисляют длину единичного резонатора $Y = L/q_y$.

13. Округляя число резонаторов до целого с избытком, уточняют оптимальную длину глушителя $L^* = Y[q_y]$.

14. Уточняют акустическую эффективность глушителя

$$N^* = L^*/(\lambda \cdot 1{,}83 \cdot 10)^{-6}.$$

15. Пример расчета глушителя в виде цепочки резонаторов оптимальной длины.

Исходные данные:

R = 0,3 м;

c = 333 м/с;

ΔF = 125–250 Гц; $F_в$ = 250 Гц;

N = 25 дБ.

Расчет производим следующим образом:

$R^* = 0{,}3 \cdot 2 = 0{,}6$ м;

$\lambda = 333/250 = 1{,}332$ м;

$L_{опт} = 1{,}332 \cdot (25 + 6) \cdot 1{,}83 \cdot 10^{-2} = 0{,}756$ м;

$l = 0{,}5 \cdot 0{,}3 = 0{,}15$ м;

$\delta = 0{,}1 \cdot 0{,}15 = 0{,}015$ м;

$S_1 = 6{,}28 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}015 = 0{,}028$ м^2;

$l' = 0{,}3 \cdot 0{,}405 = 0{,}121$ м;

$\Omega = 0{,}028 \cdot 333^2/(3{,}14 \cdot 250)^2 \cdot 0{,}121 = 0{,}042$ м^3;

$q_y = 9{,}42 \cdot (0{,}3)^2 \cdot 0{,}756/0{,}042 = 15{,}26$;

$Y = 0{,}756 : 15{,}26 = 0{,}050$ м; $[q_y] = 16$;

$L^* = 0{,}50 \cdot 16 = 0{,}800$ м;

$N^* = 0{,}800/(1{,}332 \cdot 1{,}83 \cdot 10^{-2}) - 6 = 26{,}8$ дБ.

Приложение 3
Обязательное

АЛГОРИТМ И ПРИМЕР РАСЧЕТА ГЛУШИТЕЛЯ С ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ[1]

1. Исходные данные:

R – радиус срединной поверхности глушителя, м;

F – частота, Гц;

N – акустическая эффективность глушителя, дБ.

2. Назначают высоту (глубину) синусоидальных гофр u равной $0,2R$.

3. Вычисляют постоянную распространения

$$k = 0,019F.$$

4. Вычисляют коэффициент затухания $\beta = 2ku/R$.

5. Вычисляют длину глушителя

$$L = 0,115N/\beta.$$

6. Вычисляют период гофр

$$\Lambda = \pi/k, \quad \pi = 3,14.$$

7. Вычисляют число гофр $q = L/\Lambda$ и округляют его до целого с избытком.

8. Уточняют длину глушителя $L^* = \Lambda [q]$.

9. Уточняют акустическую эффективность глушителя

$$N^* = 8,68\beta L^*.$$

10. Пример расчета глушителя с гофрированной стенкой.

Исходные данные:

R = 0,3 м;

F = 500 Гц;

N = 25 дБ.

---

[1] Аналогично может быть рассчитан глушитель с периодически неоднородной стенкой.

Расчет производим следующим образом:

$u = 0{,}2 \cdot 0{,}3 = 0{,}06$ м;

$\kappa = 0{,}019 \cdot 500 = 9{,}4$ м$^{-1}$;

$\beta = 2 \cdot 9{,}4 \cdot 0{,}05/0{,}3 = 3{,}133$ м$^{-1}$;

$L = 0{,}115 \cdot 25/3{,}133 = 0{,}919$ м;

$\Lambda = 3{,}14/9{,}4 = 0{,}334$ м;

$q = 0{,}919/0{,}334 = 2{,}75$; $[q] = 3$;

$L^* = 3 \cdot 0{,}334 = 1{,}002$ м;

$N^* = 8{,}68 \cdot 3{,}133 \cdot 1{,}002 = 27{,}24$ дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И с а к о в и ч М.А. Теория волноводной изоляции в длинных линиях. IУ Всесоюзный симпозиум по дифракции и распространению волн. Ереван, 1973, т.11, с. 105.

2. Ц и л ь к е р Л.С. Применение волноводного изолятора для нормальной волны нулевого порядка в трубе.- Акустический журнал, 1980, т.26, вып.1, с. 127-131.

3. Л а п и н А.Д. Звукоизоляция в многомодальном волноводе, создаваемая периодическими неровностями и неоднородностями его стенок. - Акустический журнал, 1977, т.23, вып. 6, с. 899-906.

4. И с а е в И.К. Условие затухания упругих волн в искусственных волноводах. Сб. научных трудов ЦНИИСа "Охрана труда в транспортном строительстве". М., ЦНИИС, 1980, с. 41-45.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 4

2. РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ГЛУШИТЕЛЕЙ 7

ПРИЛОЖЕНИЯ:

1. Таблица значений пространственного коэффициента поглощения звука в воздухе 11

2. Алгоритм и пример расчета глушителя в виде цепочки резонаторов оптимальной длины 13

3. Алгоритм и пример расчета глушителя с гофрированной стенкой 15

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 17

Редактор В.А.Шлыкова
Корректор О.Д.Сухова
Техический редактор Е.В.Карелина
Подп. к печ. 23.09.85 Л - 57246
Заказ 502. Объем 1,2 п.л. Тираж 360 экз.
Цена 12 коп. Ротапринт ЦНИИСа

gost.e-ecolog.ru