УДК 622.42:622.411.522

# ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ РАЗРЕЗА

**Цыганков Д. А., Нижникова О. О., Охотникова Ю. А.[1]**

*[1]ФГБОУ ВО Новосибирский государственный технический университет,*

*Россия, 630073, г. Новосибирск, проспект К. Маркса, 20, e-mail: tsygankov@corp.nstu.ru*

**Подтверждается факт того, что соответствие атмосферы объектов открытых горных работ установленным действующими государственными стандартами нормативам по содержанию основных составляющих частей воздуха, а также содержащимся в ней вредным примесям в решающей степени зависит от эффективности естественного проветривания разреза. Проводится линия на то, что во всех случаях, когда содержание вредных газов или запылённость воздуха на объекте открытых горных работ превышают установленные нормы, должны быть приняты меры по обеспечению безопасных и здоровых условий труда. Проведён анализ выбросов токсичных веществ атмосферу действующего разреза. Определены приоритетные направления ветра в различные сезоны года и количество соответствующих им штилевых дней. Построен характерный профиль разреза и сечения, свойственные приоритетным направлениям ветра. Проведён анализ схем естественного проветривания разреза с выбором прямоточной. Выяснено, что в соответствии со сложившейся ситуацией, основные выбросы токсичных веществ происходят от работающей в разрезе техники. Сделан расчёт приземных концентраций токсичных веществ для различных направлений ветра и штилевых дней. Определено, что превышение предельно-допустимых концентраций токсичных веществ происходит по пыли и диоксиду азота в режиме рециркуляции воздуха. Проверочным расчётом доказано, что время накопления токсичных примесей до опасной концентрации больше средней продолжительности штиля, а искусственного проветривания разреза не требуется.**

Ключевые слова: атмосфера, токсичные выбросы, естественное проветривание, характерный профиль, сечение, турбулентность, рециркуляция, штиль.

# QUALITY ASSESSMENT OF A NATURAL AIR VENTILATION OF A QUARRY

**Tsygankov D. A.[1]**

*[1]FGBOU VO Novosibirsk State Technical University,*

*Russia, 630073, Novosibirsk, K. Marx prospect, 20, e-mail: tsygankov@corp.nstu.ru*

**The fact is confirmed that the compliance of the atmosphere of opencast mining facilities with the standards established by the current state standards for the content of the main constituent parts of the air, as well as the harmful impurities contained in it, largely depends on the efficiency of natural ventilation of the section. The line is drawn that in all cases when the content of harmful gases or dust in the opencast mining facility exceeds the established standards, measures must be taken to ensure safe and healthy working conditions. The analysis of emissions of toxic substances to the atmosphere of the current section was carried out. The priority wind directions in different seasons of the year and the number of calm days corresponding to them are determined. The characteristic profile of the section and cross section, characteristic of the priority wind directions, was built. The analysis of the natural ventilation patterns of the section and the choice of direct-flow was carried out. It was found that, in accordance with the current situation, the main emissions of toxic substances come from working in the context of technology. The calculation of surface concentrations of toxic substances for different wind directions and calm days has been made. It was determined that the excess of maximum permissible concentra-**

**tions of toxic substances occurs due to dust and nitrogen dioxide in the air recirculation mode. Verification calculations have proved that the time of accumulation of toxic impurities to a dangerous concentration is longer than the average duration of calm, and artificial ventilation of the incision is not required.**

Keywords: atmosphere, toxic emissions, natural ventilation, characteristic profile, section, turbulence, recycling, calm.

## Введение

Мировая добывающая промышленность характеризуется широким развитием открытого способа ведения горных работ, в процессе которых карьеры последовательно переходят от категории мелких к средним, затем – глубоким и сверхглубоким. При образовании частично изолированного от окружающей среды выработанного пространства создаются весьма неблагоприятные условия для проветривания карьера, что при наличии больших объёмов пылевых и газовых выделений нередко приводит к местному или общему загрязнению его атмосферы до уровня, превышающего допустимые пределы [1, 2].

Наиболее остро проблема сверхнормативного загрязнения атмосферы проявляется в глубоких карьерах, расположенных на Урале, в Восточной Сибири и Западной Якутии, где штилевые периоды в сочетании с температурной инверсией занимают значительные промежутки времени. Такие полукатастрофические явления приводят к необходимости дополнительного резервирования оборудования и персонала для обеспечения планового объёма добычи, что отрицательно сказывается на количественных и качественных показателях основных технологических процессов [3, 4].

Разработанные и испытанные на ряде карьеров способы и средства беструбной вентиляции и пылегазоподавления свободными воздушными и двухфазными струями во многих случаях показали хорошие результаты, но опыт их использования в целях общеобменного проветривания глубоких карьеров свидетельствует, что кардинального решения проблемы до настоящего времени не получено [5, 6]. При этом трубопроводный способ вентиляции, являющийся в настоящее время основным при проветривании разнообразных промышленных объектов, большинством исследователей неизменно оценивался как малоперспективный для карьеров, требующих подачи больших объёмов воздуха [7, 8].

Атмосфера объектов открытых горных работ должна соответствовать установленным действующими государственными стандартами нормативам по содержанию основных составляющих частей воздуха, а также содержащимся в ней вредным примесям. Воздух рабочей зоны должен содержать не менее 20 % кислорода и не более 0,5 % углекислого газа по объёму. Места отбора проб и их периодичность устанавливаются графиком, утверждённым техническим руководителем организации, но не реже одного раза в квартал и после каждого

изменения технологии работ. Во всех случаях, когда содержание вредных газов или запылённость воздуха на объекте открытых горных работ превышают установленные нормы, должны быть приняты меры по обеспечению безопасных и здоровых условий труда. В этом решающая роль отводится проветриванию участков горных работ и, прежде всего, естественному [9, 10].

## Цель исследования

Оценить эффективность естественного проветривания участка «Брянский» разреза «Виноградовский» ПАО «Кузбасская топливная компания» и спроектировать меры по предотвращению сверхнормативных загрязнений воздуха рабочей зоны.

## Материал и методы исследования

В работе использовались материалы фактических измерений концентраций токсичных веществ в воздухе на участке «Брянский» разреза «Виноградовский» ПАО «Кузбасская топливная компания». Исследования проводились с использованием расчётов по рекомендациям нормативно-технической литературы, а также методов научного анализа, обобщения и систематизации полученных данных.

## Результаты исследования и их обсуждение

Разрез «Виноградовский» расположен в северо-восточной части Ерунаковского горно-геологического региона и административно входит в состав Беловского района Кемеровской области. Ландшафт местности степной, растительность приурочена к долине реки Иня и логам. Климат района резко континентальный со значительной амплитудой колебания температур - 84-87 °С. Он характеризуется длинной холодной зимой и коротким жарким летом. Средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца (июля) – 25,2 °С. Средняя температура наиболее холодного месяца (января) - 22,6 °С. Преобладающее направление ветра – юго-западное. Скорость ветра, среднегодовая повторяемость превышения которой в данной местности 5 %, составляет 13 м/с. Средняя дата образования устойчивого снежного покрова – 6 ноября, разрушения устойчивого снежного покрова – 24 апреля. Число дней с устойчивым снежным покровом – 169, а число дней дождями - 73.

На рисунке 1 приведена схема разреза участка «Брянский» на конец отработки, которая имеет максимальные геометрические параметры по длине, ширине и глубине.

Рисунок 1. Схема разреза участка «Брянский».

Для выполнения поставленной задачи предварительно строится профиль разреза, совпадающий с характерными направлениями ветра (рисунок 2). Ветер юго-западного направления, имеющий среднюю скорость 3,5 м/с, характерен для 157 дней в году. При этом в течении 27 % времени бывают штили (скорость до 0,2 м/с). На каждом сечении под углом α=15° проводится линия внешней границы свободной турбулентной струи. Определяются точки встречи границы струи с соответствующим бортом или дном карьера.

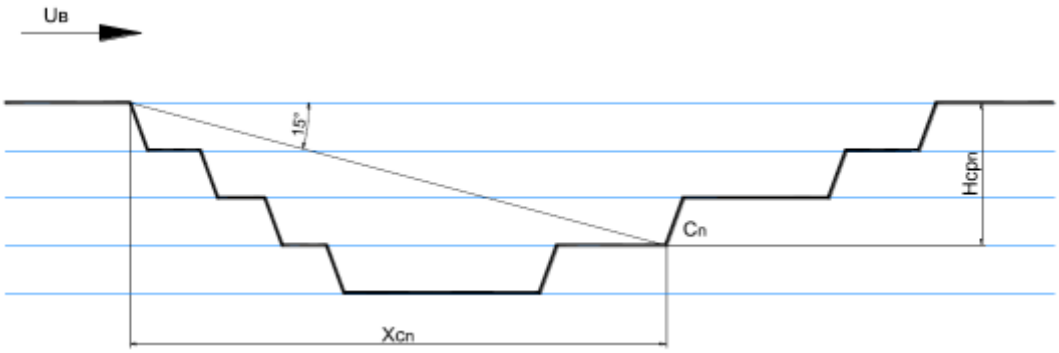


Рисунок 2. Характерный профиль разреза участка «Брянский».

Для выполнения расчётов естественного проветривания строятся характерные сечения, совпадающие с расчётным направлением ветра (рисунок 3) [11].

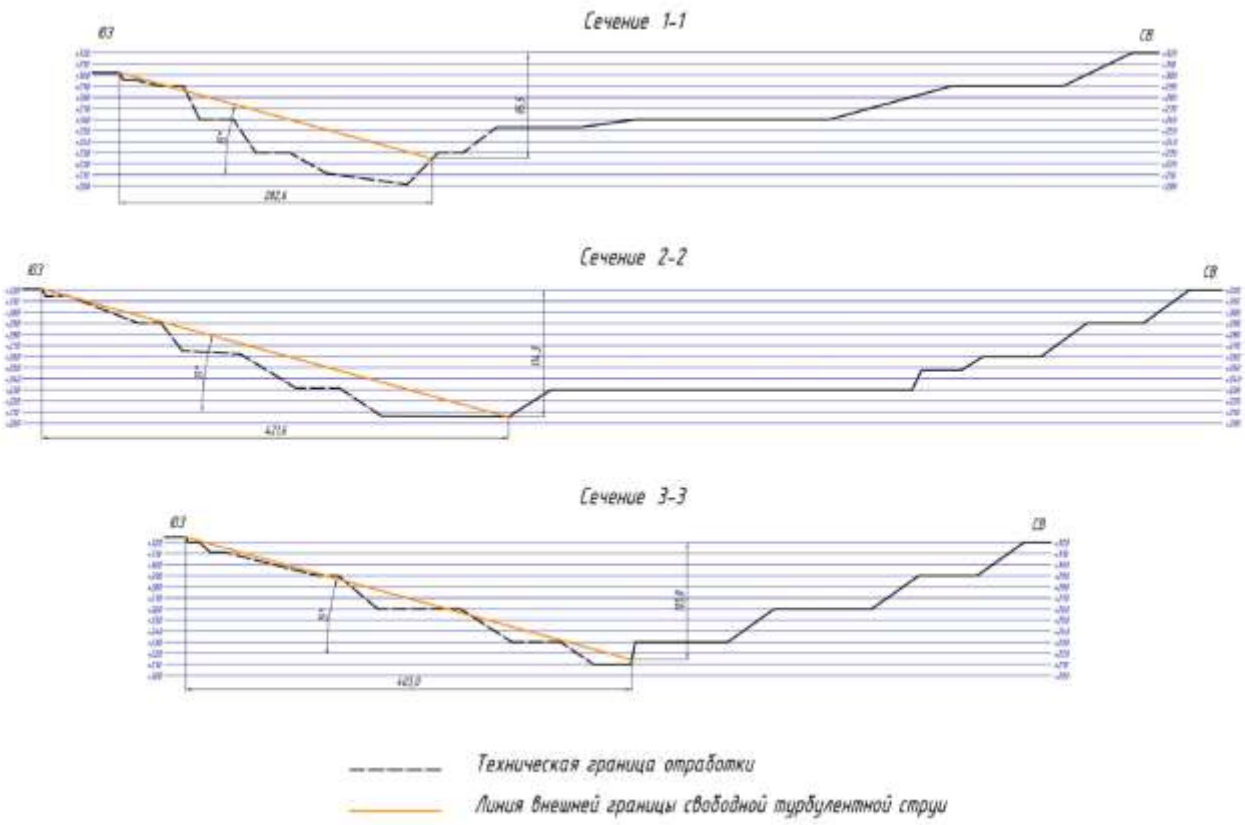


Рисунок 3. Характерные сечения 1-3 разреза участка «Брянский».

Далее определяется средняя глубина участка $h$, по достижении которой возникает зона рециркуляции, по формуле [12, 13]:

$$h = \frac{1}{n}(h_1 + h_1 + \cdots + h_n), \text{ м}, \quad (1)$$

где $h_1$, $h_2$ … $h_n$ – значения глубины расположения точки встречи внешней границы струи с бортом или дном карьера, м; $n$ – число сечений, принятых для определения.

$$h = \frac{1}{3}(95{,}5 + 114{,}3 + 105{,}8) = 105{,}2 \text{ м} \quad (2)$$

Определяем среднее значение абсциссы точки встречи внешней границы струи юго-западного направления с дном или бортом карьера $x$, по формуле [12, 13]:

$$x = \frac{x_0 + x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}, \text{ м}, \quad (3)$$

где $x_0$, $x_1$, $x_2$ … $x_n$ – значения длины зоны рециркуляции соответствующего сечения, м; $n$ – число сечений, включая нулевые (где нет рециркуляции).

$$x = \frac{0 + 282{,}6 + 421{,}6 + 403 + 0}{5} = 221{,}4 \text{ м} \quad (4)$$

Существует две схемы естественного проветривания разрезов - рециркуляционная (рисунок 4) и прямоточная (рисунок 5) [11].

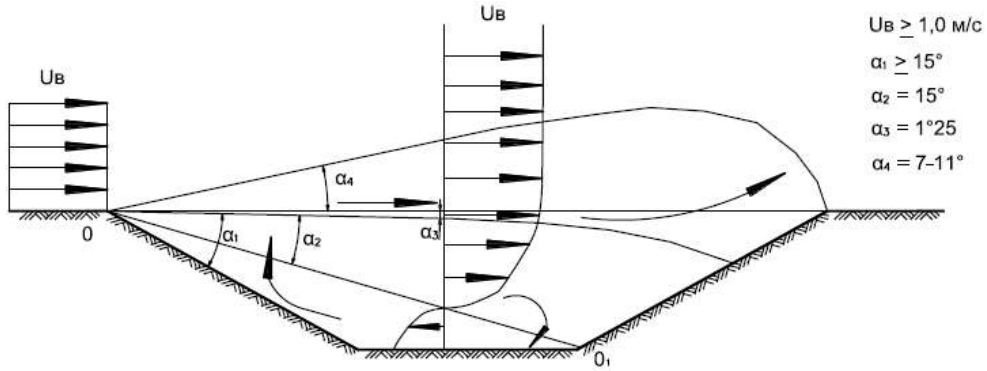


Рисунок 4. Рециркуляционная схема естественного проветривания.

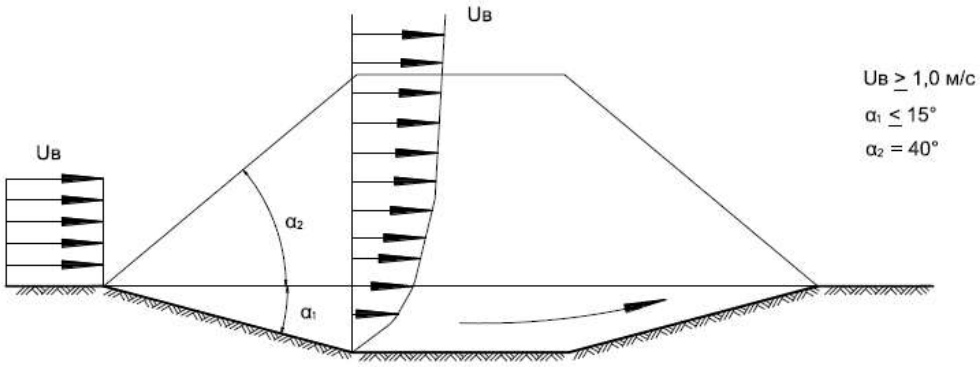


Рисунок 5. Прямоточная схема естественного проветривания.

На основании анализа построенных сечений 1-3 (рисунок 3), а также в соответствии со схемами естественного проветривания (рисунки 4 и 5) для дальнейших расчетов принимается рециркуляционная схема естественного проветривания.

Концентрации вредных веществ в атмосфере определяется по формулам.

В зоне рециркуляции [14, 15]:

$$c_1 = \frac{33{,}3 \cdot g_1}{x \cdot u \cdot l} + c_0, \text{ мг/м}^3, \quad (5)$$

за пределами зоны рециркуляции [6, 7]:

$$c_2 = \frac{15 \cdot g_1}{x \cdot u \cdot l} + c_0, \text{ мг/м}^3, \quad (6)$$

где $c_1$ – концентрация вредных веществ в зоне рециркуляции, мг/м$^3$; $c_2$ – концентрация вредных веществ за пределами зоны рециркуляции, мг/м$^3$; $c_0$ – фоновая концентрация вредностей, мг/м$^3$; $g_1$ –поступление загрязнителя от внутренних источников, мг/м$^3$; $x$ – среднее значение абсциссы точки встречи внешней границы струи, южного направления, с дном или бортом карьера, м; $u$ – скорость ветра в расчетном направлении, м/с; $l$ – ширина зоны рециркуляции, м.

Основными источниками загрязнения атмосферы карьера является работающее там оборудование. Расчет концентрации вредных веществ при среднегодовой скорости ветра и во время штилей приведён в таблице.

Таблица. Расчёт концентраций вредных веществ

| Расчётные показатели концентраций, мг/м$^3$ | Наименования загрязнителей | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Пыль | *CO* | Керосин | $NO_2$ | *NO* | Сажа | $SO_2$ | Формаль-дегид | Бенз-α-пирен |
| При среднегодовой скорости ветра | | | | | | | | | |
| В зоне рециркуляции | 0,929 | 2,804 | 0,146 | 0,717 | 0,098 | 0,038 | 0,058 | 0,0002 | $1{,}49\times10^{-7}$ |
| Вне зоны рециркуляции | 0,526 | 2,582 | 0,066 | 0,353 | 0,044 | 0,017 | 0,033 | 0,0001 | $6{,}7\times10^{-7}$ |
| При штилях (17 % времени) | | | | | | | | | |
| В зоне рециркуляции | 13,043 | 9,472 | 2,561 | 11,661 | 1,707 | 0,673 | 0,793 | 0,003 | $2{,}6\times10^{-6}$ |
| Вне зоны рециркуляции | 5,983 | 5,585 | 1,154 | 5,282 | 0,769 | 0,303 | 0,364 | 0,002 | $1{,}2\times10^{-6}$ |
| ПДК, мг/м$^3$ | 4,0 | 20,0 | 300,0 | 2,0 | 5,0 | 4,0 | 10,0 | 0,5 | 0,00015 |

На основании выполненных расчётов можно сделать вывод о том, что превышение предельно-допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в зоне рециркуляции, а также за её пределами, наблюдается при штилях по пыли и диоксиду азота, следовательно, естественное проветривание не обеспечивает соблюдение ПДК в границах разреза. Необходимо выполнить расчёт искусственного проветривания в границах разреза.

Промежуток времени, за который накапливается концентрация вредностей до уровня ПДК, определяется по формуле [14, 15]:

$$t = \frac{c_2 \cdot V}{g_2}, \text{ с}, \tag{6}$$

где $c_2$ – ПДК, мг/м$^3$; $V$ – объем карьера, м$^3$; $g_2$ – баланс поступления вредностей в атмосферу карьера во время штиля, мг/с.

Объём разреза для простых условий разработки определяется по следующей формуле [14, 15]:

$$V = L \cdot B \cdot H + 0{,}5 \cdot P \cdot H^2 \cdot ctg\gamma + \frac{\pi \cdot H^2 \cdot (ctg\gamma)^2}{3}, \text{ м}^3, \tag{7}$$

где $\gamma$ – средний угол откоса бортов карьера, град.; $L$, $B$, $P$, $H$ – длина, ширина, периметр дна и средняя глубина разреза, м.

$$V = 550 \cdot 100 \cdot 105{,}2 + 0{,}5 \cdot 1380 \cdot 105{,}2^2 \cdot ctg20^\circ + \frac{3{,}14 \cdot 105{,}2^2 \cdot (ctg20^\circ)^2}{3} = 35965090{,}7 \text{ м}^3. \tag{8}$$

Время накопления пыли $t_1$ рассчитывается по формуле:

$$t_1 = \frac{4 \cdot 35965090{,}7}{12303{,}3 \cdot 3600} = 3{,}24 \text{ ч}. \tag{9}$$

Время накопления двуокиси азота $t_2$ рассчитывается по формуле:

$$t_2 = \frac{2 \cdot 35965090{,}7}{11114{,}1 \cdot 3600} = 1{,}79 \text{ ч.} \quad (10)$$

Так как время накопления какой-либо вредной примеси (пыли или двуокиси азота) до опасной концентрации больше средней продолжительности штиля, то искусственное проветривание разреза не потребуется.

## Выводы

1. На основе построения и анализа характерного профиля разреза, а также соответствующих ему сечений, согласно преобладающим направлениям ветра, принята рециркуляционная схема проветривания участка «Брянский».
2. Определено, что основным источником токсичных выбросов в атмосферу разреза является работающая в нём горная техника, поскольку внутреннее отвалообразование на участке отсутствует.
3. По результатам проведённых расчётов выяснено, что необходимость в искусственном проветривании участка отсутствует.

## Список литературы


1. Горшков Л. К. Оздоровление атмосферы рабочих зон карьеров изменением геометрии их бортов / Л. К. Горшков, В. А. Рогалев, К. Н. Ястребова // Экология и развитие общества. – 2013. СПб.: № 1 (7) С. 46 - 50.
2. Рогалев В. А. Методические особенности интенсификации естественного проветривания карьеров / В. А. Рогалев, К. Н. Ястребова // Записки Горного института. – 2014. СПб.: Т. 207 – С. 131-133.
3. Рогалев В. А. Оздоровление атмосферы карьеров и угольных разрезов / В. А. Рогалев, Л. К. Горшков // Методические основы: Учебное пособие. – СПб.: МАНЭБ, 2013. – С. 130.
4. Козырев С. А. Оценка параметров аэрации и загрязнения атмосферы карьеров вредными технологическими примесями / Вестник МГГУ. – 2009. Том 12, № 14. – С. 588-590.
5. Горшков Л. К. Профилирование придонной части подветренного борта карьера / Л. К. Горшков, В. А. Рогалев, К. Н. Ястребова // Экология и развитие общества. – СПб., 2014. - № 3 - 4 (11). - С. 34-38.
6. Горшков Л. К. Обеспечение безотрывного обтекания срединной части борта карьера естественным воздушным потоком /Л. К. Горшков, В. А. Рогалев, К. Н. Ястребова // Экология и развитие общества: Материалы XV-й Международной научно-практической конференции. СПб., 2014. - С. 69 - 74.
7. Ястребова К. Н. О целесообразности аэродинамического профилирования бортов карьера / Экология и развитие общества. – СПб., 2014. - № 1-2 (10). - С. 28-31.

8. Ястребова К. Н. Имитационное моделирование процесса обтекания бортов открытой горной выработки естественным ветровым потоком / Безопасность труда в промышленности. - М.: 2014. - № 8 – С. 60-62.
9. ПБ 03-498-02. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. – М.: ГУП "НТЦ "Промышленная безопасность", 2014, 364 с.
10. ПБ 05-619-03. Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом. – М.: ГУП "НТЦ "Промышленная безопасность", 2016, 278 с.
11. Мельников Н. В. Краткий справочник по открытым горным работам. – М.: Недра, 1974, 456 с.
12. СП 2.2.2.1327-03. Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту. - М.: Минздрав России, 1999, 62 с.
13. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. - М.: Минздрав России, 2006, 84 с.
14. СНиП 2.05.07-91. Промышленный транспорт. - М.: Госстрой России, 1991, 54 с.
15. СНиП 2.05.02-95. Автомобильные дороги. - М.: Госстрой России, 1995, 48 с.