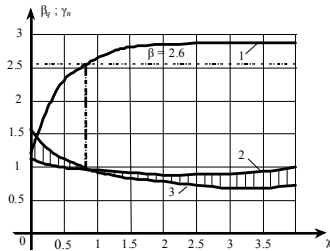


Рис. 2. Залежність β від χ (крива 1); залежність γ_n від χ (крива 2 та 3)

В табл. 1 показано області можливих значень ймовірностей відмови P_f та характеристики безпеки β для випадку забезпечення розрахункових значень навантажень та опорів $\beta_q=1,65$, $\beta_r=2,56$ для різних значень γ_n [4].

Таблиця 1

χ	v_r	v_q	$(v_r^2 + v_q^2)^{1/2}$	$\gamma_n = 1$		$\gamma_n = 0,95$		$\gamma_n = 0,9$	
				β	P_f	β	P_f	β	P_f
0,1	0,05	0,50	0,502	1,90	0,0287	1,80	0,0359	1,69	0,0455
0,2	0,100,05	0,500,25	0,5100,255	2,12	0,0170	2,021,92	0,02170,0274	1,911,71	0,02810,0436
0,5	0,250,05	0,500,10	0,5590,112	2,62	0,0044	2,532,16	0,00570,0154	2,431,68	0,00750,0465
1	0,300,05	0,300,05	0,4240,071	2,98	0,0014	2,862,26	0,00210,0119	2,731,50	0,00320,0668
2	0,300,10	0,150,05	0,3350,112	3,02	0,0013	2,872,56	0,00210,0052	2,712,08	0,00340,0188
3	0,300,15	0,100,05	0,3160,158	2,95	0,0016	2,792,63	0,00240,0043	2,622,28	0,00440,0113

Висновки та напрямок подальших досліджень. Аналіз табл. 1, дозволяє дійти висновку, що сучасні методи проектування споруд масового застосування та оцінки рівня їх залишкової несучої здатності можуть призводити до неоднозначних результатів, коли ймовірність відмови при $\gamma_n=0,9$ виявляється меншою ніж при $\gamma_n=1$.

Отже, проектна надійність конструкцій залежить не тільки від встановлених рівнів розрахункових значень вихідних величин, але й від співвідношення їх мінливостей. Аналіз надійності конструкцій, що проектується в припущенні їх доопрацювання з огляду встановлення розрахункових значень показує, що рівень надійності конструкцій однакової відповідальності може відрізнятись в декілька десятків разів.

У зв'язку з викладеним, доцільно було б провести певне корегування існуючих методів розрахунку. А саме, основну вимогу з надійності - співставлення розрахункових значень, замінити вимогою співставлення проектної ймовірності відмови з нормованим значенням цієї ймовірності. Зрозуміло, що останнє твердження потребує додаткових досліджень.

Список літератури

1. **Льчев А.С.** Надёжность строительных конструкций. – М.: АСВ, 2008. – 184с.
2. **Уткин В.С.** Оценка надежности и несущей способности строительных конструкций на основе теории нечетких множеств и теории возможностей. Автореферат... канд.техн.наук. – Вологда, 2002. – 24с.
3. **Райзер В.Д.** Расчёт и нормирование надёжности строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1995. – 347с.
4. **Райзер В.Д.** Теория надёжности в строительном проектировании: Монография. – М.: АСВ, 1998. – 304с.

Рукопис подано до редакції 19.03.13

УДК 69.057.693:624

А.В. ПАРШИН, В.И. АСТАХОВ, С.А. ХАРЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.
С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ СМЯТИЮ ЭЛЕМЕНТОВ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Представлены результаты исследования сопротивляемости смятию для элементов болтовых соединений фундаментов, которые были выполнены из разных марок стали и имели различную конфигурацию.

Ключевые слова: фундамент, болт, смятие, сопротивляемость, соединение.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Смятие - местное сжатие, которое может сопровождаться локальной остаточной деформацией (обмятием). Применительно к болтовым соединениям сопротивление смятию - количественный показатель прочности, выражаемый в напряжениях, который определяет деформативность отверстия элемента, воспринимающего нагрузку от стержня болта. Очевидно, что при установлении количественных показателей сопротивлений смятию целесообразно рассматривать диаграммы деформирования отверстий элементов болтовых соединений, что позволит более адекватно рассчитывать крепления металлоконструкций к фундаментам различных типов.

Анализ исследований и публикаций. Отмеченный подход был использован в исследова-

ниях Беляева С.В., Биргера И.А., Горпинченко В.М., Григорьева В.Н., Ивашкова И.И., Каленова В.В., Кармалина В.В., Кочерговой Е. Е., Мацелинского Е.Р., Павлова А.Б., Стрелецкого Н.Н., Трофимова В.И. Иоселевича Г.Б. и др. [1-5]. Следовательно, чтобы решить задачи, поставленные в данном исследовании, необходимо для каждого образца иметь полную информацию о деформациях отверстия на всех этапах нагружения. Так как диаграмму деформирования отверстия нельзя строить без анализа особенностей работы болтового соединения на сдвиг, то окончательно в качестве расчетных сопротивлений смятию принимаются величины, вычисленные по деформационному критерию.

Постановка задания. Анализ исследований работы на смятие элементов болтовых соединений из сталей повышенной и высокой прочности, а также сопоставление требований отечественных и зарубежных норм проектирования показал, что формула СНиП П 23-81 [3] недостаточно точно характеризует зависимость между R_{sp} и R_{un} , поэтому нуждается в уточнении, что и обусловило направление и содержание представленного исследования.

Изложение материала и результаты исследования. В практике строительства широко встречаются конструкции, элементы которых испытывают внецентренное растяжение. В таких конструкциях, как правило, основным элементом является уголок, прикрепляемый с помощью болта за одну полку. Поэтому для экспериментальных исследований были разработаны два вида образцов, моделирующих работу внецентренно и центрально растянутых элементов, представляющие собой в первом случае равнобокий уголок, а во втором - пластину (рис. 1).

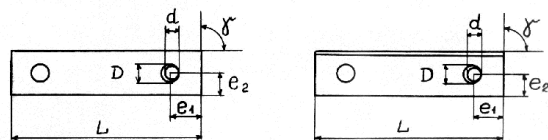


Рис. 1. Экспериментальные образцы: d - диаметр соединительного болта; D - диаметр отверстия; e_1 - расстояние от центра отверстия до края элемента вдоль линии приложения нагрузки; e_2 - то же поперек линии приложения нагрузки; γ - угол среза

Основными геометрическими характеристиками элемента болтового соединения являются расстояния от центра отверстия до края элемента вдоль и поперек линии действия нагрузки, которые оказывают решающее влияние на сопротивляемость элемента смятию. Кроме того, на сопротивляемость смятию оказывают влияние и прочностные характеристики стали, из которой изготовлен элемент. Изучение влияния этого фактора также было поставлено в число рассматриваемых задач. Характеристики всех серий экспериментальных образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики образцов элементов одноболтовых соединений

Код серии	Материал	Сечение образца	e_1 , мм	e_2 , мм	D , мм	γ , °	Количество образцов, шт.
ОС-1	ВСтЗпс6	L 63×6	43	32	21,5	90	160
ОС-2	ВСтЗсп5	- 64×8	43	32	21,5	90	80
ОС-3	09Г2С	L 80×6	43	32	21,5	90	95
ОС-4	09Г2С	- 64×6	43	32	21,5	90	155
ОС-5	09Г2С	- 64×8	43	32	21,5	90	170
ОС-6	12ГС	- 64×3	43	32	21,5	90	200
ОС-7	10Г2С	- 64×7	43	32	21,5	90	160
ОС-8	12Г2СМФ	- 64×8	43	32	21,5	90	160
ОС-9	ВСтЗпс6	L 63×6	43	32	21,5	90	3
ОС-10	ВСтЗпс6	L 63×6	38	32	21,5	90	3
ОС-11	ВСтЗпс6	L 63×6	32	32	21,5	90	3
ОС-12	ВСтЗпс6	L 63×6	27	32	21,5	90	3
ОС-13	ВСтЗпс6	L 63×6	22	32	21,5	90	3
ОС-14	ВСтЗпс6	L 63×6	43	27	21,5	90	3
ОС-15	ВСтЗпс6	L 63×6	43	22	21,5	90	3
ОС-16	ВСтЗпс6	L 63×6	43	16	21,5	90	3
ОС-17	ВСтЗпс6	L 63×6	27	20	13,5	90	3
ОС-18	ВСтЗпс6	L 63×6	35	26	17,5	90	3
ОС-19	ВСтЗпс6	L 63×6	51	38	25,5	90	3
ОС-20	ВСтЗпс6	L 63×6	43	32	21,5	45	3
ОС-21	ВСтЗпс6	L 63×6	43	32	21,5	30	3

Целью исследований являлось изучение сопротивляемости элементов болтовых соедине-

ний смятию, рассматривались исключительно деформации смятия отверстия.

Для практического использования диаграмму деформирования отверстия при смятии целесообразно представить в координатах: ось абсцисс - относительные деформации отверстия $\Delta D/d$; ось ординат - напряжения смятия $\sigma_{вр}$. Относительные деформации отверстия представляют собой отношение деформации отверстия ΔD к диаметру болта d . Напряжения смятия определялись как частное от деления нагрузки $N_{вр}$ на условную площадь смятия dt .

Характеристики используемых сталей приводятся в табл. 2 - в рамках данного исследования использованы строительные стали практически всех классов прочности.

Таблица 2

Основные характеристики сталей для элементов одноболтовых соединений

Марка стали	Профиль	Химический состав, %					Механические свойства, МПа		Код серии образцов
		C	Mn	Si	P	S	σ_y	σ_u	
ВСтЗпс6	L 63×6	0,16	0,52	0,06	0,016	0,026	240	370	ОС-1, 9:12
ВСтЗсп5	лист $\delta=8$	0,15	0,48	0,18	0,014	0,033	250	400	ОС-2
09Г2С	L 80 х6	0,11	1,60	0,68	0,028	0,032	360	520	ОС-3
09Г2С	лист $\delta=6$	0,14	1,63	0,61	0,029	0,025	345	500	ОС-4
09Г2С	лист $\delta=8$	0,12	1,56	0,67	0,024	0,030	350	530	ОС-5
12ГС	лист $\delta=3$	0,17	1,15	0,60	0,023	0,028	355	500	ОС-6
10Г2С	лист $\delta=7$	0,1	1,85	0,79	0,029	0,021	375	620	ОС-7
12Г2СМФ	лист $\delta=8$	0,12	1,65	0,65	0,019	0,023	585	700	ОС-8

Это послужило основанием для установления эмпирической регрессионной зависимости между $R_{вр}$ и R_{un} , но результатам испытаний центрально и внецентренно растянутых образцов серий ОС-1...ОС-8 были построены диаграммы $\sigma_{вр} - \Delta D/d$ по (рис. 2,3).

Было установлено, что резкое нарастание пластических деформаций отверстия элемента, загружаемого через стержень соединительного болта, происходит в тот момент, когда при приложении очередной ступени нагрузки приращение деформаций отверстия превосходит приращение деформации на предыдущей ступени в два и более раз.

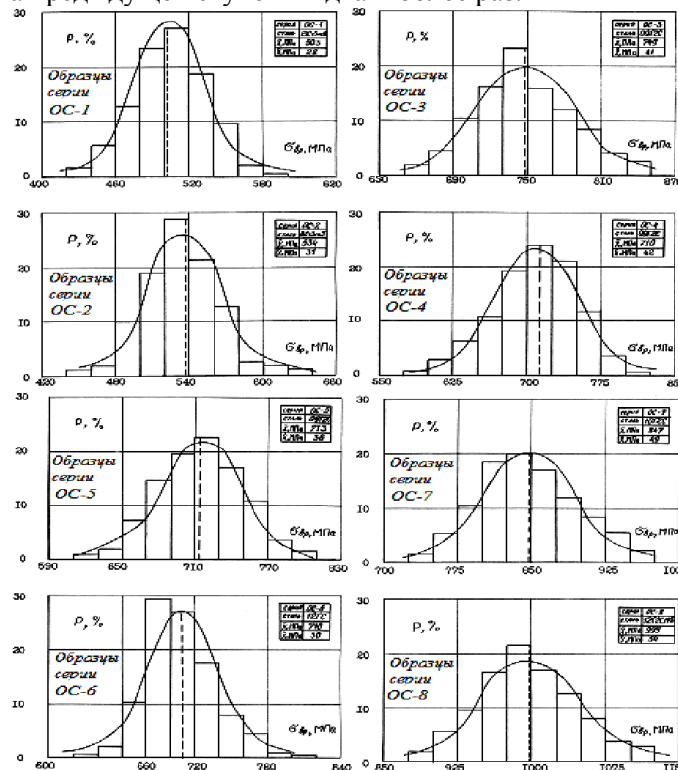


Рис. 2. Гистограммы распределения и гипотетические нормальные кривые распределения напряжений смятия для образцов испытанных серий ОС-1 - ОС-8

Полученная на основании такого подхода величина предельных остаточных деформаций отверстия для всех серий образцов составляла около 0,4 мм. Так как образцы во всех рассмот-

ренных сериях крепились к нагрузочным фасонкам с помощью болтов М20, то по отношению к диаметру соединительного болта предельные остаточные деформации отверстия составляли 2%. Этот результат хорошо согласуется как с критериями, использованными в работах, так и с величиной предельных деформаций.

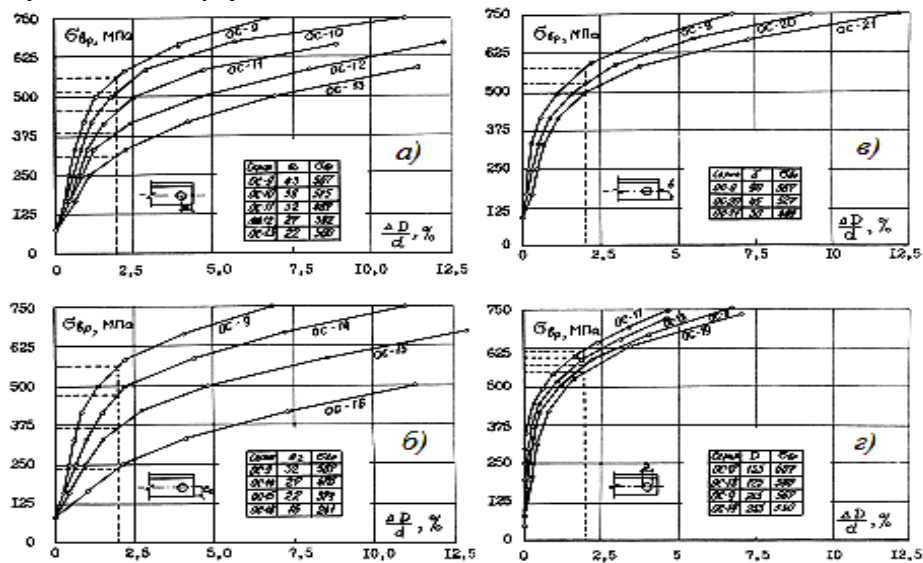


Рис. 3. Зависимости между напряжениями смятия и относительными деформациями отверстия для образцов с различными: расстояниями от центра отверстия до края элемента вдоль усилия *a* и поперек усилия *б*; углами обреза *в* и диаметрами соединительных болтов *г*

Для того, чтобы при повышении расчетных сопротивлений смятия не допустить снижения надежности соединения, необходимо назначение расчетных сопротивлений вести сразу по двум критериям - деформационному и прочностному. Однако главенствующее положение должно принадлежать деформационному критерию.

На первом этапе работы были проведены исследования, посвященные обоснованию расчетных сопротивлений смятию для элементов болтовых соединений, изготовленных из сталей различных прочностных групп. Всего для этого было испытано восемь серий (ОС-1...ОС-8) образцов одноболтовых соединений общим количеством 1080 штук.

Полученные на основании результатов испытания экспериментальных образцов гистограммы распределения были аппроксимированы теоретическими кривыми распределения. Рассмотрение внешнего вида гистограмм дает все основания утверждать, что распределение напряжений смятия подчиняется нормальному закону распределения Гауса.

Действительно, поскольку такая прочностная характеристика как сопротивление смятию есть результат суммарного действия независимых случайных величин, ни одна из которых не имеет превалирующего влияния, то согласно теореме Ляпунова ее распределение можно считать сколь угодно близким к нормальному закону (табл. 3).

Таблица 3

Серия	Точность оценки, МПа		Оптимальный объем выборки, шт		Фактический объем выборки, шт
	математическое ожидание	среднеквадратическое отклонение	для определения математического ожидания	для определения отклонения	
ОС-1	8	3	47	168	320
ОС-2	6	3	101	201	160
ОС-3	8	4	100	199	190
ОС-4	8	4	108	216	310
ОС-5	6	4	140	158	340
ОС-6	8	3	53	188	400
ОС-7	7	5	189	185	320
ОС-8	6	5	317	228	320

Оценка степени согласованности теоретического и экспериментального распределения (см. рис. 2) производилась по критерию χ (Пирсона).

Критическую точку находили по таблице критических точек распределения для заданного уровня значимости 25 и фактического числа степеней свободы. В табл. 4 приводятся результаты проверки гипотезы о законе распределения напряжений смятия. Анализируя полученные

результаты следует признать, что нормальный закон является приемлемым для аналитического представления распределения напряжений смятия.

Таблица 4

Серия	Степеней свободы	Набл.		Заключение
ОС-1	5	6,45	6,63	принимается
ОС-2	4	3,83	5,39	принимается
ОС-3	6	6,49	7,84	принимается
ОС-4	5	9,04	6,63	не принимается
ОС-5	6	1,47	7,84	принимается
ОС-6	4	21,72	5,39	не принимается
ОС-7	7	8,84	9,04	принимается
ОС-8	7	6,83	9,04	принимается

Полученные значения коэффициентов корреляции и уравнения регрессии представлены в табл. 5. Из ее рассмотрения видно, что коэффициент корреляции во всех случаях достаточно близок к единице, что подтверждает существование между исследуемыми величинами почти строгой линейной функциональной зависимости.

Таблица 5

Коэффициент корреляции	Уравнение регрессии
0.988	$R_{sp}=1.344(R_{un}/\gamma_m)$
-0.998	$K_1=1.15-0.0085\alpha$
0.994	$K_1=0.76e_2/D-0.133$
0.959	$K_1=0.388e_1/D+0.21$

Графики зависимостей приведены на рис. 4.

Согласно действующим нормам, расчетное усилие, которое может быть воспринято элементом одноболтового соединения, работающим на смятие, следует определять по формуле $N_{sp} \leq \alpha \cdot \Sigma t_{min} \cdot R_{sp} \cdot \gamma_e$, где R_{sp} - расчетное сопротивление смятию; α - номинальный диаметр болта; Σt_{min} - наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов; γ_e - коэффициент условий работы.

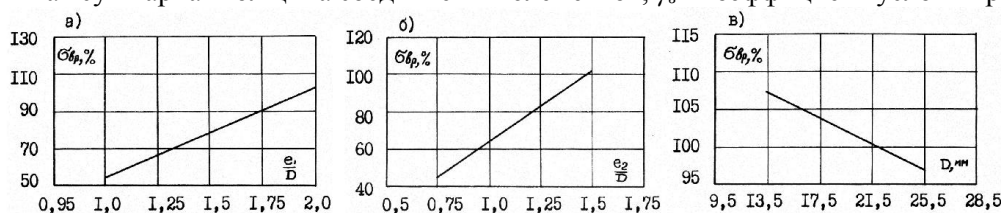


Рис. 4. Зависимости между напряжениями смятия и: а - расстояниями от центра отверстия до края элемента вдоль усилия; б - расстояниями от центра отверстия до края элемента поперек усилия; в - номинальными диаметрами стержней болтов

Из норм также следует, что значения R_{sp} действительны только для элементов с расстоянием от центра отверстия до края элемента поперек действия внешнего усилия $e_2=1,5D$ и вдоль действия внешнего усилия $e_1=2D$. При $1,5D$ значения R_{sp} уменьшаются за счет введения в формулу коэффициента условий работы γ_e , который изменяется в пределах 0,85-1.

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, можно утверждать, что действующие нормы проектирования не обеспечивают учета влияния на несущую способность элемента одноболтового соединения, работающего на смятие, всех основных параметров. Исходя из этого, на основании полученных регрессионных зависимостей между сопротивлением смятию и основными геометрическими параметрами соединения, была предложена формула для вычисления расчетных сопротивлений смятию $R_{sp}=1,35(R_{un}/\gamma_m)\gamma_{e1}\gamma_{e2}\gamma_{e3}$, где γ_{e1} - коэффициент, учитывающий влияние расстояния от центра отверстия до края элемента вдоль усилия; $\gamma_{e1}=0,39e_1/D+0,22$; $1 \leq e_1/D \leq 2$, где γ_{e2} - коэффициент, учитывающий влияние расстояния от центра отверстия до края элемента поперек усилия, $\gamma_{e2}=0,76e_2/D-0,14$; $0,75 \leq e_2/D \leq 1,5$; γ_{e3} - коэффициент, учитывающий влияние диаметра соединительного болта (при величине зазора между болтом и отверстием 1,5 мм); $\gamma_{e3}=1,17-0,0085d$; $12 \leq d \leq 24$ мм; γ_{e4} - коэффициент, учитывающий влияние величины угла обреза элемента $\gamma_{e4} = 1$ при $\gamma=90^\circ$; $\gamma_{e4} = 0,93$ при $\gamma=45^\circ$; $\gamma_{e4} = 0,88$ при $\gamma=30^\circ$

Формулы, используемые для вычисления коэффициентов условий работы, отличаются от регрессионных зависимостей тем, что они приведены к такому виду, когда для случая $e_1/D = 2$,

$e_2/D = 1,5$; $d = 20$ и $\gamma = 90^\circ$ все коэффициенты $\gamma_{11} = \gamma_{12} = \gamma_{13} = \gamma_{13} = 1$

Список литературы

1. Биргер И.А., Иоселевич Г.Б. Резьбовые соединения. -М.: Машиностроение, 1973. -255 с.
2. ГОСТ 24379.0-80. Болты фундаментные. Общие технические условия. -М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1981. -6 с.
3. СНиП II-23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования. -М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. -96 с.
4. Беляев С.В. Исследование прочности болтов при растяжении с перекосом//Заводская лаборатория. 1945. - №11 -С. 604-623.
5. Кочергова Е.К. Работа на срез черных болтов из сталей марок Ст3, Ст5 и 35ГС//Промышленное строительство. -1963. -№3. -С. 46-48.
6. Мацелинский Е.Р. О назначении расчетных сопротивлений болтов классов прочности 4.8 и 5.8//Труды института ЦНИИСК. 1977. Теоретические исследования строительных конструкций. -С. 148-154.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.12

УДК 532.5 (075.8)

А.А. ЛАПШИН, канд. техн. наук, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ВОЗДУХА НА ОТКРЫТЫХ РУДНЫХ СКЛАДАХ ШАХТ КРИВБАССА

Приведен анализ состояния атмосферы на рабочих местах промплощадок горных предприятий, который указал на высокую запыленность, практически на каждом рабочем месте превышающую ПДК. Приведены теоретические зависимости для определения интенсивности пылевыведения при перегрузке горной массы. Исследована зависимость удельной интенсивности пылевыведения от повышения влажности и скорости движения материала.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Технологические процессы переработки горной массы на промплощадках сопровождаются интенсивным пылевыведением, основными источниками которого являются места ссыпаний с открытых конвейерных эстакад, узлы перегрузки, эрозия открытых штабелей при хранении на складах [1]. Таким образом происходит загрязнение окружающей среды пылью не только на промплощадках горных предприятий, а и на территориях жилых массивов.

Анализ исследований и публикаций. Исследования различных авторов и замеры, выполненные на горных предприятиях, свидетельствуют, что концентрация пыли на рабочих местах в десятки и сотни раз превышает ПДК [2]. Обращает на себя внимание тот факт, что при проведении одних и тех же технологических процессов, запыленность воздуха изменяется в несколько десятков раз.

Изложение материала и результаты исследований. Анализ концентраций пыли на рабочих местах промплощадок горных предприятий показывает, что запыленность атмосферы является высокой и практически на каждом рабочем месте превышает ПДК.

Так на рабочих местах операторов по приему руды в конусные дробилки запыленность воздуха составляет 4,7-314,1 мг/м³, машинистов дробилок 6,8-371,7 мг/м³, машинистов питателей 7,3-18,9 мг/м³, машинистов конвейеров 2,8-28,2 мг/м³, машинистов экскаваторов 3,8-15,8 мг/м³, машинистов тепловоза 3,8-5,3 мг/м³, дозировщиков 4,2-6,0 мг/м³, сцепщика вагонов 4,7-40,8 мг/м³, сигнальщиков на промплощадках шахт 2,1-3,2 мг/м³.

На промплощадках горных предприятий расположены механические службы подъема, мастерские, служба снабжения, котельные, бытовые комбинаты и другие службы, рабочие которых также находятся в зонах загрязнения пылью, поступающей от источников технологического комплекса.

Многочисленные исследования различных авторов и замеры, выполненные на горных предприятиях, свидетельствуют, что концентрация пыли на рабочих местах в десятки и сотни раз превышает ПДК [2,3]. Обращает на себя внимание тот факт, что при проведении одних и тех же технологических процессов, запыленность воздуха изменяется в несколько десятков раз.

Например, рабочие места на разгрузочных площадках автосамосвалов и скипов 4,7-314,1 мг/м³, рабочие места машинистов открытых конвейеров 2,6-28,2 мг/м³, сцепщики вагонов 4,7-40,0 мг/м³, машинистов экскаваторов 3,8-13,8 мг/м³. Такое большое расхождение в величинах концентраций пыли можно объяснить различной интенсивностью пылевыведения, которая