

ное положение. После этого поднимают элемент составного верхняка 4 в проектное положение и соединяют элементы крепи в единую конструкцию при помощи узлов податливости 6 и 7.

Выводы и направления дальнейших исследований. Использование предлагаемой конструкции позволит за счет согласованной работы всех узлов податливости обеспечить длительную работоспособность крепи, повысит устойчивость выработки, снизит затраты на ее поддержание и изготовление элементов крепи.

Другим возможным направлением повышения работоспособности металлической арочной крепи является применение комбинированных крепей, в том числе на основе использования анкерных систем.

Список литературы

1. Кошелев К.В., Перенко Ю.А., Новиков А.О. Охрана и ремонт горных выработок. – М.: Недра, 1990. – 218 с.
2. Касьян М.М., Новіков О.О., Петренко Ю.А., Шестопапов І.М., Рєзнік А.В. Металева податливе кріплення – Патент на корисну модель №64368, зареєстр. 10.11.2011р. – 7с.
Рукопись поступила в редакцию 16.03.12

УДК 622.831.3

О.Є. ГРИГОР'ЄВ, канд. техн. наук, Р.М. ТЕРЕЩУК, канд. техн. наук, доц.
ДВНЗ «Національний гірничий університет»

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОХИЛИХ ВИРОБОК В УМОВАХ ПАТ «ДТЕК ДОБРОПІЛЛЯВУГІЛЛЯ»

На основі математичного моделювання методом скінчених елементів встановлені закономірності розподілу напружень в межах масиву навколо похилих виробок. Виявлені закономірності зміни розмірів області непружних деформацій навколо виробок залежно від гірничо-геологічних умов шахт ПАТ «ДТЕК Добропіллявугілля» та визначені граничні розміри таких зон.

Вступ. Стан панельних капітальних гірничих виробок залежить від багатьох обставин, серед яких важливе значення має стійкість породного масиву у запобіжних ціликах, що охороняють такі виробки і покликані запобігти взаємному впливу і впливу опорного тиску, викликаного очисними роботами, на вантажний або людський ходки. Розрахунковий запас міцності ціликів і стан масиву у їх межах навколо виробки є базовими параметрами для оцінки стану всієї системи і визначають заходи з її охорони, а саме тип і параметри кріплення, місце розташування виробки тощо.

Найбільш точними методами, що дозволяють встановити причинно-наслідкові зв'язки між силами, діючими на систему, і кінцевим розподілом напружень у породному масиві, а також оцінити такі залежності кількісно є такі, що засновані на аналізі результуючої картини напружено-деформованого стану породного середовища навколо виробки.

Аналіз досліджень та публікацій. Більшість дослідників [1,2 та ін.] пропонують рішення задачі про напружено-деформований стан породного масиву, використовуючи методи механіки суцільного середовища. Їх залучення дозволяє у кожному конкретному випадку, залежно від типу порід, що вміщують виробки, найбільш адекватно відбити фізико-механічні властивості і особливості деформації матеріалів. У свою чергу, при побудові підсумкової картини розподілу напружень слід враховувати нелінійність зміни характеристик елементів масиву, і, передусім, пружно-пластичну деформацію порід. Для побудови картини напружено-деформованого стану масиву досить виділити декілька параметрів, що найбільш впливають на його поведінку, і шляхом комплексного аналізу або моделювання отримати результуючу картину розподілу напружень. Метод аналізу пружно-деформованого стану повинен забезпечувати високу точність результатів рішень.

Методами, що задовольняють усім цим вимогам, є так звані наближені чисельні методи, що отримали протягом останніх декількох років широке поширення. Такі методи дозволяють з достатньою мірою точності отримати кількісну оцінку параметрів стану масиву гірських порід, а також наочно показати якісну картину його напружено-деформованого стану.

При рішенні завдань геомеханіки найбільше застосування отримав метод скінчених елементів (МСЕ). МСЕ має ряд переваг, які істотно полегшують рішення завдань геомеханіки при найбільш точних результатах.

Урахування нелінійності деформації середовища, в якому для кожного матеріалу моделі задається своя крива деформації, дозволяє, на відміну від більшості інших методів, рішення геомеханічних задач, де в більшості випадків, має місце пружнопластичне, крихке або пластичне руйнування, і відповідний перерозподіл напружень у недоторканому масиві.

Саме завдяки своїй універсальності МСЕ був адаптований і неодноразово використовувався для вирішення задач геомеханіки в роботах [1,2 та ін.].

При моделюванні за допомогою МСЕ, нелінійні рішення на практиці отримують за рахунок використання ітераційного підходу, суть якого зводиться до наступного. На кожному кроці обчислень, відповідно до набутих на попередньому кроці значень напружень згідно прийнятої моделі, міняються фізико-механічні властивості елементів масиву.

Відомий ряд алгоритмів, що реалізують такий підхід, проте, зважаючи на складність урахування природи знеміцнення і розпушування масиву, найбільшого поширення набув метод пружних рішень нелінійних задач О.А. Ільюшина.

Породний масив знаходиться в тривимірному напруженому стані, тому використовувати наведену вище процедуру можна лише у тому випадку, якщо такий багатовісьовий напружений стан привести до простого одновісного.

Існує декілька розрахункових формул, заснованих на відповідних феноменологічних теоріях міцності, які дозволяють подібне приведення. Серед таких теорій найбільш використовуваними є теорія П.П. Баландина

$$\sigma_e = \frac{(1-\psi)(\sigma_1 + 2\sigma_3) + \sqrt{(1-\psi)^2(\sigma_1 + 2\sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1 - \sigma_3)^2}}{2\psi} \leq R_c k_c \quad (1)$$

Вираз 1 має важливе прикладне значення. По суті σ_e – універсальний параметр, що визначає напружений стан точки масиву порід або породного зразка. На практиці, порівнюючи його величину в точках модельованого масиву з межею міцності на одновісьовий стиск R_c можливо визначити геометрію усїєї області розпушування і міру руйнування в межах такої області.

Виходячи із сказаного вище, граничний стан масиву порід характеризується таким виразом

$$\sigma_e = R_c k_c, \quad (2)$$

де k_c - коефіцієнт структурно-механічного послаблення.

За умови наявності отриманих в результаті моделювання МСЕ усіх компонент напружень, використовуючи вираз (2), не складно визначити в процесі моделювання ділянки масиву в стійкому стані і області із зруйнованими елементами.

Згідно з нормативними рекомендаціями [3], паралельні капітальні виробки слід розташовувати в масиві порід на найкоротшій відстані, що виключає їх взаємний вплив. Природно, що на деякій відстані наявність сусідньої виробки призводить до якісних і кількісних змін параметрів напружено-деформованого стану масиву навколо виробок. Області високих концентрацій напружень в породному середовищі, викликаних наявністю порожнин, при досить близькому їх розміщенні, накладаються, слідством чого являється зростання деформацій, збільшення зони непружних деформацій, а, відповідно, зростають і зміщення контуру виробки. Проте, величина таких зміщень далеко не завжди приводить до таких викривлень контуру виробки, після яких експлуатація її стає неможливою.

Питанню визначення величини зміщень контуру виробки залежно від різних гірничогеологічних і гірничо-технічних чинників на підставі прийнятих гіпотез гірського тиску присвячено багато праць, детальний аналіз яких виконаний в [4].

Проф. А.В. Солодянкін у своїй роботі робить наступні важливі у світлі намічених цілей даної роботи висновки:

зміщення контуру виробки, які є наслідком об'ємного розширення порід в межах зони непружних деформацій, безумовно пов'язані з, так званим, критичним радіусом цієї зони. Критичний радіус визначає такі геометричні розміри області розпушування, після досягнення яких переміщення на контурі виробки призводять до істотного, інакше кажучи, критичного, викривлення форми виробки, внаслідок чого її подальша експлуатація стає неможливою;

втрата міцності при досягненні критичних розмірів зони непружних деформацій спостерігається, передусім, в площині підшви виробки, що пов'язано із застосуванням переважно незамкнутих типів кріплення і послабленням міцнісних характеристик порід в результаті присутності шахтних вод.

По-перше, враховуючи, що підшва виробки є найменш стійкою частиною її контуру, саме здимання порід підшви є найбільш вірогідним проявом гірського тиску. Відповідно, критичний радіус зони непружних деформацій згідно теорії біфуркації А.Н. Шашенко, а також можливість здимання можна визначити з виразу

$$\overline{\varepsilon}_v r_L^{*2} \ln^2 r_L^* - 2 > 0, \quad (3)$$

де r_L^* – відносний критичний радіус зони непружних деформацій; $\overline{\varepsilon}_v$ – відносна об'ємне розпушення порід на контурі виробки.

Використання цього виразу показало високий рівень відповідності закладеного в теорію механізму прояву здимання з реальною поведінкою породного масиву в межах підшви виробки в природних умовах.

Безумовним є зв'язок між зміщеннями на контурі виробки і відносним радіусом непружних деформацій, що визначається з виразу [2]

$$u = \varepsilon_v \left(0,5 - \frac{r_L^2 \ln r_L}{r_L^2 - 1} \right), \quad (4)$$

де u - переміщення контуру виробки у відносних одиницях

$$u = U / R_0, \quad (5)$$

де R_0 - радіус виробки, м, U - переміщення на контурі виробки.

На відміну від підходу, запропонованого А.В. Солодяніним, тут величина критичних зміщень визначається незалежно від коефіцієнта умов розробки θ , що визначається за формулою

$$\theta = \frac{R_c k_c}{\gamma H}. \quad (6)$$

Природно, що підставляючи у (4) значення критичного радіусу непружних деформацій, можна розрахувати і значення величини критичних зміщень. Крім того, надалі, зменшуючи ширину цілику між виробками, відповідно до викладених вище уявлень про накладення збурень в породному масиві від виробок, стає можливим визначити діапазон, в якому можливе таке зменшення, порівнюючи отримані значення відносного радіусу зони непружних деформацій з критичною величиною радіусу.

Мета. Встановлення закономірностей розподілу напружень в межах масиву навколо похилих виробок та виявлення зміни розмірів області непружних деформацій навколо виробок залежно від гірничо-геологічних умов шахт ПАТ «ДТЕК Добропіллявугілля».

Основний матеріал досліджень. Послідовність виконання чисельного моделювання полягає в наступному.

Для умов пласта l_8 горизонту 550 м ТДВ «Шахта Білозерська» шляхом математичного моделювання за допомогою МСЕ визначалися зони непружних деформацій для кожного з варіантів розташування виробок. Кількість варіантів визначалися, виходячи з максимально припустимої ширини цілику, згідно з нормативними розрахунковими значеннями з наступним зменшенням до розмірів, що визначаються критичною величиною відносного радіусу деформацій.

Крім того, відповідно до ідеї роботи, рішення серії задач виконується для декількох конфігурацій породного масиву, що містить в покрівлі пісковик змінної потужності і який розташовується на змінній відстані від підшви вугільного пласту для систем «виробка-цілик-виробка», «лава-цілик-виробка».

Для кожного варіанту визначалася відносна величина зміщення на контурі виробки і будувалися залежності відносного радіусу зони непружних деформацій від ширини цілику.

За розрахункові схему були прийняті розрахункові схеми (рис. 3) з відповідною скінченно-елементною реалізацією.

Кінцеві картини розподілу еквівалентних напружень для декількох конфігурацій модельованого масиву наведені на рис. 2,3.

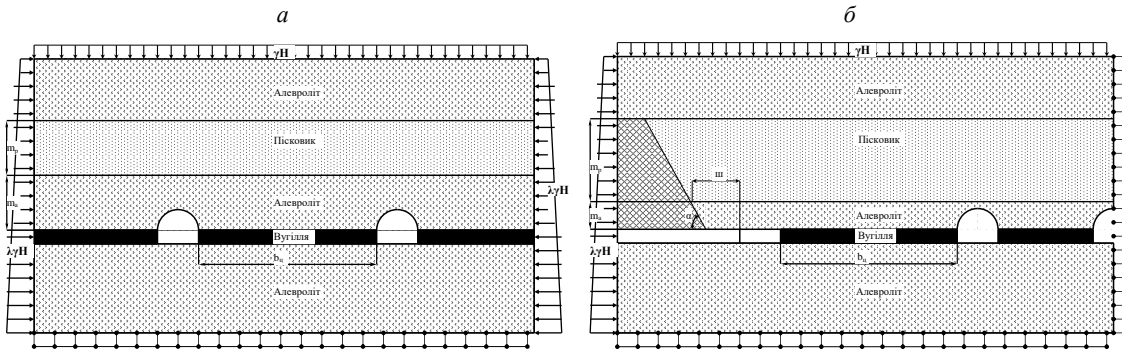


Рис. 1. а - розрахункова схема моделі для визначення зон непружних деформацій для двох капітальних виробок; б - розрахункова схема моделі для визначення зон непружних деформацій навколо виробки, що охороняється запобіжним циліком

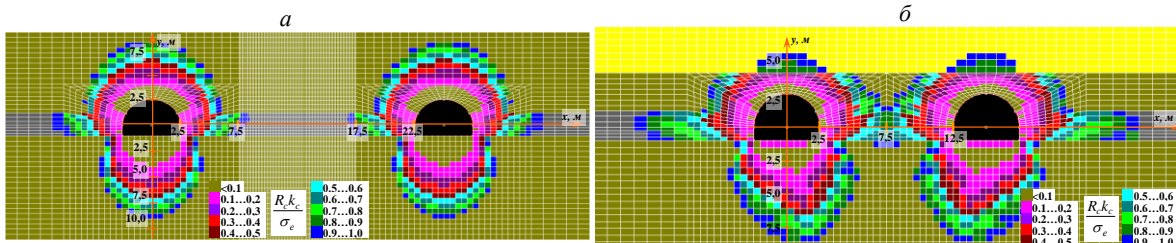


Рис. 2. Конфігурація зон непружних деформацій навколо виробок при: а) $b_{ш}=20$ м; $m_n=0$; б) $b_{ш}=15$ м, $m_n=20$; $m_a=5$ м

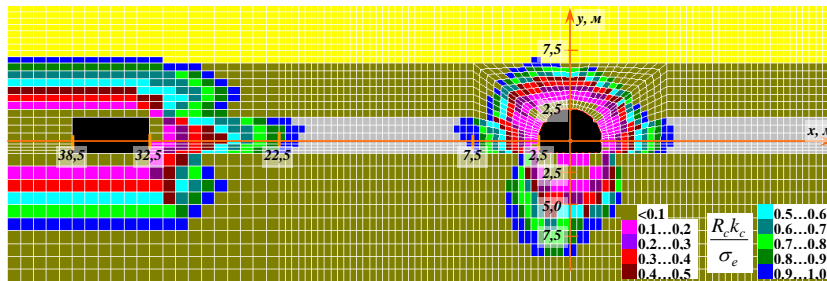


Рис. 3. Конфігурація зон непружних деформацій навколо виробок при $b_{ш}=30$ м; $m_n=20$ м; $m_a=3$ м

За результатами аналізу отриманих залежностей відносного радіусу непружних деформацій r_L і пов'язаних з ним виразом (4) відносних переміщень u від потужності пісковіку m_n для різної величини m_a , приклад однієї з яких надано на рис. 4.

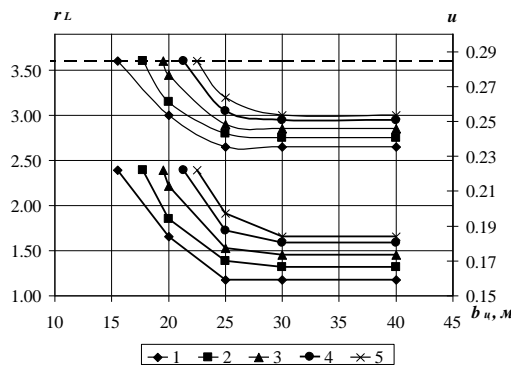


Рис. 4. Графік залежності відносного радіусу непружних деформацій r_L та відносних переміщень u від ширини циліка між лавою й ходком $b_{ш}$ при $m_n=20$ м; 1 – $m_a=5$ м; 2 – $m_a=10$ м; 3 – $m_a=15$ м; 4 – $m_a=20$ м; 5 – $m_a=25$ м, $m_n=0$ м

Усі залежності мають експоненціальний характер і стали основою для побудови підсумкових графіків, наведених на рис. 5,6.

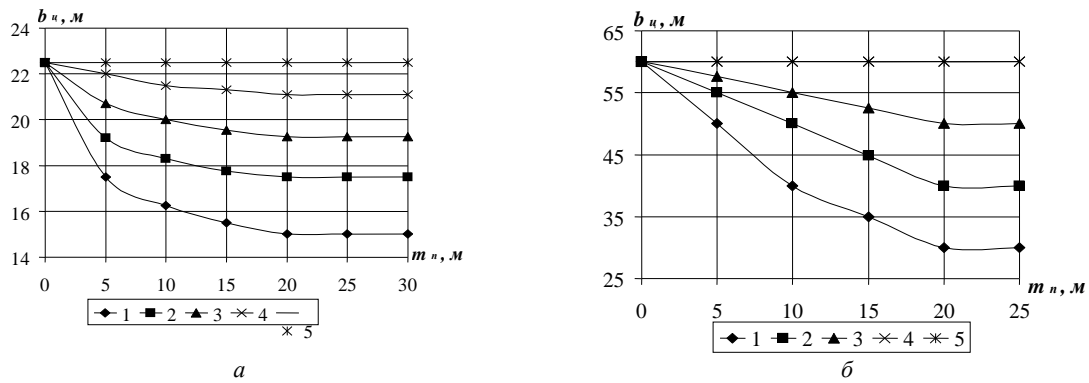


Рис. 5. Графіки залежності ширини цілика b_u від потужності пласту пісковика m_n для систем: а) «виробка-цілик-виробка», б) «виробка-цілик-лава»
 1 – $m_a=5$ м, 2 – $m_a=10$ м, 3 – $m_a=15$ м, 4 – $m_a=20$ м, 5 – $m_a=25$ м

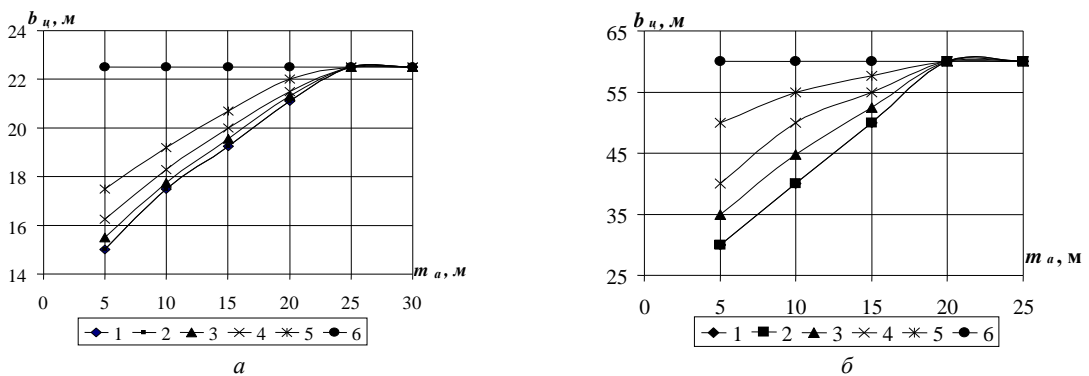


Рис. 6. Графіки залежності ширини цілика b_u від відстані між пластом пісковика й підшовою вугільного пласту m_a для систем: а) «виробка-цілик-виробка», б) «виробка-цілик-лава»; 1 – $m_n=5$ м, 2 – $m_n=10$ м, 3 – $m_n=15$ м, 4 – $m_n=20$ м, 5 – $m_n=25$ м

Висновки. Аналіз отриманих картин дозволяє відмітити наступні особливості:

зона непружних деформацій при розташуванні виробок на максимальній відстані одна від одної ($b_u=40$ м) у вуглепородному масиві без міцного шару пісковика в покрівлі симетрична відносно головних вертикальних осей виробок, а відносний радіус області відповідає розрахунковому радіусу зони розпушення;

при $k_c=0,33$, розрахункова величина відносного радіусу непружних деформацій складе $r_L=2,85$, тоді як отримане в результаті моделювання значення цієї величини при вимірі відстані від центру виробки до максимально віддаленої точки області складає $r_L=3,0$, що зайвий раз підтверджує адекватність прийнятого алгоритму моделювання;

у міру зменшення ширини цілику геометрія області розпушення міняє конфігурацію з тенденцією зміщення центру мас у бік сусідньої виробки, як в покрівлі, так і в підшві;

зона непружних деформацій навколо крайнього ходку на максимальній відстані від лави має конфігурацію подібну до конфігурації області розпушення поза зоною будь-якого впливу;

відносний радіус зони непружних деформацій, як і залежні від нього переміщення контуру виробки, збільшуються за експоненціальним законом у міру зменшення цілику.

Отримані залежності (див. рис. 4-6) дозволяють зробити наступні висновки:

незалежно від функціонального призначення цілику при зменшенні ширини цілику b_u величина відносного радіусу зони непружних деформацій r_L зростає за експоненціальним законом, сягаючи критичного значення в діапазоні $b_u=15\dots22,5$ м для системи «виробка-цілик-виробка» і $b_u=30\dots60$ м для системи «виробка-цілик-лава».

для заданих гірничо-геологічних умов, вплив пласту пісковика у покрівлі вугільного пласту спостерігається при його потужності до $m_n=20$ м і при розташуванні на відстані до $m_a=20$ м. При віддаленні пісковика більше ніж на 20 м від вугільного пласта напружено-деформований стан породного масиву навколо виробок відповідає стану однорідного масиву. Залежності припустимої ширини цілику b_u від потужності пласту пісковика m_n та від відстані між ним й підшою вугільного пласту описуються експоненціальними функціями.

Виконані дослідження є основою для подальшого обґрунтування заходів з підвищення стійкості виробки, насамперед за допомогою використання новітніх засобів кріплення.

Список літератури

1. Шашенко А.Н. Геомеханические процессы в породных массивах / А.Н. Шашенко, Т. Майхерчик, Е.А. Сдвижкова [Монография]. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2005. – 319 с.
 2. Гапеев С.Н. Закономерности потери упругопластической устойчивости сложноструктурного массива в окрестности одиночной выработки. – Дис...канд. техн. наук: 05.15.09 / С.Н. Гапеев. – Днепропетровск, 2004. – 188 с.
 3. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах; КД 12.01.01.201-98. Мінвуглепром України. – К., 1998. – 150 с.
 4. Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости протяженных выработок: Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.04., 05.15.09 / А.В. Солодянкин. – Днепропетровск, 2009. – 426 с.
- Рукопись поступила в редакцию 20.03.12

УДК 622.062:622.281

Б.Н. АНДРЕЕВ, д-р техн. наук, проф., Д.В. БРОВКО, канд. техн. наук, доц.,
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

НАУЧНЫЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Выполнен анализ оценки состояния строительных объектов поверхности горнопромышленного комплекса по критерию снижения их несущей способности функционально связанного с вероятностью риска обрушения зданий и сооружений.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Аварийные ситуации на объектах поверхности горнопромышленного комплекса, вызванные запроектными воздействиями, в общем случае непредсказуемы и сводятся к локальным аварийным воздействиям на отдельные конструкции одного здания: взрывы, пожары, карстовые провалы, дефекты конструкций и материалов, некомпетентная реконструкция (перепланировка) и т.п. случаи.

Как правило, воздействие рассматриваемого типа приводит к местным повреждениям несущих конструкций зданий. При этом в одних случаях такие ситуации этими первоначальными повреждениями и исчерпываются, а в других - несущие конструкции, сохранившиеся в первый момент аварии, не выдерживают дополнительной нагрузки, ранее воспринимавшейся поврежденными элементами, и тоже разрушаются.

Существующая нормативная база по управлению безопасностью строительных объектов не в полной мере справляется с возложенными на нее задачами, а норм, которые регламентируют риск аварии зданий, нет вообще.

Использование в строительстве методики нормирования, основанной на коэффициентах надежности, теоретически обеспечивает безопасность строительных конструкций. Однако опыт эксплуатации конструкций показывает, что надежность является необходимым, но не достаточным условием безопасности.

Установлено, что в 80% случаев причиной строительных аварий являются грубые человеческие ошибки, допускаемые при проектировании, изготовлении и монтаже несущих конструкций, которые при невыгодном сочетании с непредсказуемыми факторами природно-климатического и техногенного характера становятся причинами обрушений строящихся и уже построенных зданий и сооружений.

Таким образом, формирование процедур и методик, позволяющих устанавливать степени конструкционной безопасности зданий с учетом риска, является весьма *актуальной потребностью* горнопромышленного комплекса. Механизмом практической реализации политики обеспечения безопасности строительных объектов должна стать система управления рисками на всех стадиях эксплуатации объектов горнопромышленного комплекса.

Постановка задачи. Значительный износ существующих зданий и сооружений с большим сроком эксплуатации, а также низкое качество строительных объектов, возведенных в стране за последние четверть века, являются причинами роста числа обрушений зданий и сооружений, нередко сопровождающихся гибелью людей.