

Первый случай соответствует условию (17). В этом случае полоска закрепляется более одного раза, и радиус закрепленной колонны зависит от скорости поднятия рабочего инструмента  $v_n$ . Тогда

$$h = f(v_1). \quad (24)$$

Во втором случае  $L = L_1$ . Это означает, что каждый участок закрепляется только один раз и весь объем породы является закрепленным. Тогда

$$h = f(w). \quad (25)$$

В третьем случае  $L < L_1$ . При этом, как и в случае 2, полоска  $L$  закрепляется лишь один раз. Это значит, что выполняется условие (16). Также как и во втором случае

$$h = f(w).$$

Рис. 1 показывает, что при практической работе на радиус закрепления влияет лишь скорость вращения рабочего устройства и не влияет скорость поднятия.

Первый случай является нежелательным, так как он ведет к излишнему расходу закрепляющего раствора и увеличению времени работ.

В третьем случае, ближе к периметру колонны возникают зоны с низким качеством закрепления.

Естественно наиболее оптимальным вариантом является второй случай. При этом обеспечивается наилучшее качество закрепления (нет незакрепленных участков), наименьшая продолжительность выполнения работ и предотвращается дополнительный расход закрепляющего раствора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.И., Власов С.Ф., Ткачук С.В.: «Выбор определяющих параметров струйного закрепления пород» – М., Гидротехническое строительство, №11, 1993.

2. Бондаренко В.И., Власов С.Ф., Ткачук С.В.: «Теоретический метод определения технологических параметров процесса проникания высоконапорной струи в горные породы». Киев. Рукопись депонирована в КНТБ Украины №1417 УК-93.

3. Бондаренко В.И., Власов С.Ф., Ткачук С.В.: «Результаты моделирования струйной технологии закрепления пород» – М., Гидротехническое строительство, №1, 1994.

УДК 622.831

А.Н. Шашенко

## СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ГЕОМЕХАНИКЕ

Обґрунтована доцільність врахування стохастичності властивостей порід і навантажень на кріплення гірничих виробок при застосуванні детермінованих рішень оцінки їх стійкості.

Основные задачи геомеханики применительно к подземной добыче полезных ископаемых связаны с расчетами на длительную прочность (устойчивость)

несущих элементов систем разработки и крепи горных выработок.

При разработке методов количественной оценки и расчета устойчивости подземных выработок существенное значение имеет установление общих принципов подхода к задаче, соответствующих специфическим условиям функционирования исследуемого объекта.

Расчетные методы в приложении к различным сооружениям и конструкциям отличаются большим разнообразием. Особую практическую направленность имеют методы расчета деталей и конструкций в гражданском строительстве. Для целого ряда задач эти методы с высокой степенью надежности доведены до уровня инженерных расчетов.

Инженерный расчет по допускаемым напряжениям чаще всего применяют в машиностроении и выполняют путем сравнения реально действующих напряжений в наиболее опасном месте с предельными напряжениями подобного же напряженного состояния, которое устанавливается соответствующими испытаниями. Превышение последних учитывается коэффициентом запаса прочности, который вводится при установлении допускаемого напряжения.

В строительной практике имеют дело с сочетанием различных более неоднородных материалов, чем в машиностроении. В методах расчета по предельным состояниям сравниваются не напряжения, определение которых для таких материалов затруднено, а действующие нагрузки с предельными, определяющими прочность элемента или конструкции.

Более существенная практическая направленность такого подхода состоит в том, что начальные основные положения формулируются в виде предельных состояний, вытекающих непосредственно из практических требований нормальной эксплуатации здания, сооружения или конструкции.

Применяемые в расчетных методах коэффициенты предельных состояний имеют глубокий смысл. Они, вообще говоря, отражают несовершенство метода, с одной стороны, и его достоинство в простоте инженерных расчетов – с другой. В коэффициентах предельных состояний заключен статистический смысл проблемы расчета, который, благодаря им, сводится к детерминированной форме выражения. Поэтому весьма актуальны исследования статистической природы основных влияющих факторов, от которых зависит предельное состояние сооружений и конструкций, в работах А.Р. Ржаницына [1-6], Н.С. Стрелецкого [7-12], М. Майера [131], а также обоснование нормированных значений коэффициентов на основе статистического анализа в работах В.М. Келдыша, В.А. Балдина, И.И. Гольденבלата [14, 15] и др.

В достаточной степени эффективно отмеченные выше расчетные методы можно использовать для конструкций из сложного материала (железобетон), но простых геометрических форм (колонны, балки, плиты и т. п.), в которых работа сечений может быть сведена к относительно несложным схемам. В случае расчета массивных объектов (горные выработки) с непрерывно распределенной на значительной области неоднородной породной средой со сложным напряженным состоянием недостаточно исследовать предельное состояние опасных точек или областей. Необходимо, по возможности, разделить объект на отдельные части, ввести более общие оценки для всего сооружения или его части в

виде новых коэффициентов, например коэффициента устойчивости, применение которого подчеркивает несовершенство применяемых «точечных» критериев определения предельных состояний по отношению к таким системам.

Решение таких сложных задач требует непосредственного применения методов теории вероятностей, например, в проблеме накопления повреждений в сооружениях, исследованиям которой посвящены работы В.В. Болотина [16-21], или при рассмотрении устойчивости подземной выработки на основе теории случайных функций.

Исследования устойчивости протяженной одиночной выработки выполняются, как правило, в детерминированной постановке, которая предполагает существенную идеализацию изучаемого объекта (выработки), породного массива и граничных условий. Это обстоятельство позволяет обоснованно применять методы механики сплошной среды и получать однозначные решения поставленных задач. Однако сопоставление натурных измерений с аналитическими расчетами показывает, что в геомеханике высокая степень идеализации объекта приводит к тому, что практически всегда инозначному теоретическому результату в реальных условиях соответствует спектр значений, колеблющихся вокруг прогнозируемой величины. Причиной этих, часто значительных, отклонений является целый ряд недостаточно существенных на первый взгляд факторов, неучтенных в исходной физической модели. Суммарное воздействие их таково, что детерминированная система становится в значительной мере вероятностной, и искомые закономерности могут быть установлены для нее лишь в виде тенденций, реализация которых в каждом конкретном случае отклоняется от прогнозируемого результата.

Следует признать, что, прежде всего, именно это обстоятельство вызывает известное недоверие у проектировщиков и практических инженеров, вынуждая их корректировать аналитические разработки и принимать технологические и технические параметры чаще всего феноменологически, т. е. опираясь на опыт строительства шахт и подземных сооружений в аналогичных горнотехнических условиях. Такой подход редко позволяет принять близкое к оптимальному инженерное решение, что приводит или к дополнительным затратам на ремонт горных выработок, или к существенному завышению несущей способности и стоимости крепи в период строительства. Особенно отчетливо это видно на примере шахт, которые строились в сложных горно-геологических условиях Западного Донбасса, Красноармейского угольного района, Львовско-Волынского угольного бассейна и т. п.

Очевидно, что причина подобной ситуации заключается в неполном соответствии детерминированных моделей реальным объектам. Предсказать поведение такого сложного объекта, каким является породный массив, вмещающий выработку, на моделях, где все предопределено и нет места для случайности, невозможно. Любая высокоорганизованная система формируется и эффективно существует только при условии некоторой внутренней неустойчивости с тем, чтобы строгая взаимосвязь одних ее структурных элементов, обусловленная действием некоторых общих физических законов, не накладывала жестких ограничений на другие, которые должны обладать возможностью изменений, но-

сящих вероятностный характер.

Сказанное выше свидетельствует о том, что в основу исследований устойчивости протяженных выработок, рассматриваемых в виде сложных механических систем, основные характеристики которых могут быть прогнозируемы лишь в виде тенденций, должна быть заложена более сложная, стохастическая модель, отражающая колебания исследуемых параметров вокруг детерминированных решений.

Следует отметить, что в последние 10-15 лет понимание того обстоятельства, что геомеханические, впрочем, и все иные явления не являются детерминированными, послужило толчком к ряду исследований, в основе которых лежат вероятностные модели. Это работы К.В. Руппенейта, Л.Я. Парчевского, А.Н. Шашенко, Г.Т. Рубца, Л.С. Осадчей, Е.А. Сдвижковой и др. авторов. Спектр приложений этих работ достаточно широк: прочность горных работ, вспучивание пород почвы в выработках, прогнозная оценка устойчивости горных выработок, оптимизация стоимости сооружения протяженных подземных объектов, расчеты крепи, оценка качества армировки вертикальных стволов, оперативный анализ управленческих решений, расчет параметров опорных целиков камерных систем разработки, оценка запасов полезных ископаемых на сложных контурах обрабатываемых залежей и т.п.

Сейчас уже с уверенностью можно говорить о том, что статистическая геомеханика в значительной мере состоялась как самостоятельная ветвь науки о механических процессах, происходящих в недрах земли в результате человеческой деятельности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржаницын А.Р. Расчет сооружений с учетом пластических свойств материалов, — М.: Стройиздат, 1954. — 212 с.
2. Ржаницын А.Р. Метод определения допускаемых нагрузок на сооружения// Исследовательские работы по инженерным конструкциям. — 1949. — Вып. 2. — С. 38-45.
3. Ржаницын А. Р. Статистическое обоснование расчетных коэффициентов// Материалы к теории расчета по предельному состоянию. — 1949.— Вып. 2. — С. 89-96.
4. Ржаницын А.Р. Применение статистических методов в расчетах сооружений на прочность// Строительная пром-сть. — 1959.— №6. — С. 32-36.
5. Ржаницын А. Р. Статистические методы определения напряжений при продольном изгибе// Науч. сообщения ЦНИПС. — 1951. — Вып. 3. — С. 39-41.
6. Ржаницын А.Р. К проблеме расчета сооружений на безопасность// Вопросы безопасности и прочности строительных конструкций. — 1951. — Вып. 4. — С. 66-91.
7. Стрелецкий Н.С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений. — М.: Стройиздат, 1947. — 148 с.
8. Стрелецкий Н. С. Об исчислении запасов прочности сооружения// Тр.

ММСИ. – 1938. – №1. – С. 115-118.

9. Стрелецкий Н.С. К вопросу определения допускаемых напряжений// Строительная пром-сть. – 1940. – №7. – С. 22-28.

10. Стрелецкий Н.С. Основные направления исследований по уточнению метода расчета строительных конструкций по предельному состоянию// НТО строительной пром-сти – 1958. – С.12-14.

11. Стрелецкий Н.С. О возможности повышения допускаемых напряжений// Строительная пром-сть – 1943.– №7, – С. 22-31.

12. Стрелецкий Н. С. К вопросу установления коэффициентов запаса сооружений// Известия АН СССР, ОТН. – 1943.– №1 – С. 82-86.

13. Maier I. Die Sicherheit der Bauwerke und ihre Berechnung nach Grenzkraftenn anstatt nach zulassigen Spannungen. – Berlin: Springer-Verlag, 1926. – 48 S.

14. Балдин В.А. О надработке подготовительных выработок// Сб. ВНИМИ. – 1960 –Т. XXXVIII. – С. 32-38.

15. Келдыш В.М., Гольденблат И.И. Некоторые вопросы метода предельного состояния// Материалы к теории расчета по предельному состоянию. – 1948. – Вып. II. – С. 56-58.

16. Болотин В.В. Долговечность конструкций при квазистатических случайных режимах напряжений // Инженерный сборник. Изд-во АН СССР. – 1960. – Т. 29. – С. 115-119.

17. Болотин В.В. Некоторые обобщения теории суммирования усталостных повреждений и их приложения к анализу долговечности при действии случайных сил// Изв. вузов. Машиностроение. – 1995. – № 8 – С. 32–41.

18. Болотин В.В. Расчеты на прочность при случайных режимах переменных напряжений// Вестник машиностроения. – 1960. – №II. – С. 37–41.

19. Болотин В.В. Об оценке долговечности при стационарных случайных нагрузках// Изв. вузов. Машиностроение. – 1959. – № 9. – С. 32–40.

20. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежностей в расчетах сооружений. – М.: Гостройиздат, 1971. – 255 с.

21. Болотин В.В. О накоплении остаточных деформаций при случайных перегрузках// Изв. АН СССР, ОТН. Механика и машиностроение. – 1960. – №6. – С.56–61.

УДК 622.28-192

А.В. Шмиголь

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

Оцінена тенденція розробки конструктивно-технологічних рішень по підвищенню надійності штреково-го кріплення; наведені результати застосування різних кріплень в умовах вугільних шахт Західного Донбасу.

Состояние крепи горных выработок, ее надежность является одним из наиболее важных определяющих факторов устойчивой и эффективной работы шахты.