УДК 622; 550.34.01

Е.Р.КОВАЛЬСКИЙ, *канд. техн. наук, ассистент, e.r.kovalsky@gmail.com*
С.П.МОЗЕР, *канд. техн. наук, доцент, mozer1@yandex.ru*
О.В.МИХАЙЛЕНКО, *инженер, sshatilov@rtmet.ru*
С.А.СИДОРЕНКО, *канд. техн. наук, ассистент, sergeyspmi@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

E.R. KOVALSKY, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, e.r.kovalsky@gmail.com*
S.P.MOZER, *PhD in eng. sc., associate professor, mozer1@yandex.ru*
O.V.MIKHAYLENKO, *engineer, sshatilov@rtmet.ru*
S.A.SIDORENKO, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, sergeyspmi@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Предложена схема выбора безопасных параметров подземных сооружений с учетом сейсмической активности горного массив. Приведены некоторые аспекты оценки устойчивости подземных сооружений под действием динамических нагрузок. Представлены схемы к выбору безопасных параметров систем разработки с учетом сейсмической и тектонической активности горного массива

Ключевые слова: землетрясения, динамический анализ, устойчивость.

SOME APPROACHES TO EVALUATE THE STABILITY OF UNDERGROUND STRUCTURES SUBJECTED TO DYNAMIC LOADS FROM EARTHQUAKES

The scheme of approach of evaluation of the stability of underground structures with account for seismic activity of rock strata is introduced. Some aspects of estimation of stability of underground structures under dynamic loads are also present. Methods of choosing the safe parameters of underground mining with account for seismic and tectonic activity of rocks are shown.

Key words: earthquake, dynamic analysis, stability.

До 50 % густонаселенных площадей Земли подвержены сейсмическим воздействиям различной интенсивности и частоты (вероятности). При этом 10-15 % поверхности планеты можно характеризовать как высокоактивные сейсмические регионы (со средним периодом повторяемости разрушительных землетрясений один раз в 500 лет). Подземное пространство в таких регионах содержит большое количество различных сооружений, нормальное функционирование которых весьма существенно для инфраструктуры и во многих случаях – для здоровья и жизни людей. В этом смысле обеспечение сейсмостойкости подземных сооружений имеет для таких регионов особенную важность.

В странах, территории которых расположены в сейсмически активных регионах (Япония, США, Турция, Россия, Чили и многие другие), зарегистрировано значительное число случаев деформаций и разрушений подземных сооружений в результате динамических воздействий от землетрясений.



Рис.1. Методы расчета динамических нагрузок от землетрясений на подземные сооружения

К оценке степени влияния сейсмических воздействий на подземные сооружения существует множество подходов, основные из которых представлены на рис.1 [2-4].

Одним из наиболее универсальных и перспективных методов оценки динамических воздействий от землетрясений на сооружения является численное моделирование. В его основу положено моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород, испытывающего одновременное воздействие горных работ, тектонических и сейсмических сил, с помощью метода конечных элементов.

К положительным сторонам метода можно отнести возможность учета широкого диапазона геологических и горно-технических факторов, влияющих на устойчивость подземных сооружений (нелинейное поведение вмещающего массива горных пород, неоднородность его состава, наличие ослаблений в виде систем трещин и геологических нарушений, неоднородность крепления по контуру выработки, взаимодействие крепи и вмещающих пород, наличие нескольких взаимовлияющих выработок и т.д.). Помимо этого, на этапе научного обоснования проектных разработок преимуществом метода является возможность его эффективного использования в условиях неопределенности исходных данных и меньшая трудоемкость по сравнению, например, с экспериментами на физических моделях.

Методика оценки сейсмического воздействия от землетрясений на подземные сооружения на основе применения метода конечных элементов может быть представлена в виде отдельных блоков (рис.2).

Первые два этапа (блока) являются подготовительными и включают сбор необходимых исходных данных с участка строительства и компоновку на основе этой информации горно-геомеханических моделей (расчетных схем). Третий и четвертый блоки предназначены для получения и анализа выходных параметров (результатов моделирования).

В случае получения неудовлетворительных результатов по заданным исходным параметрам моделируемого объекта воз-

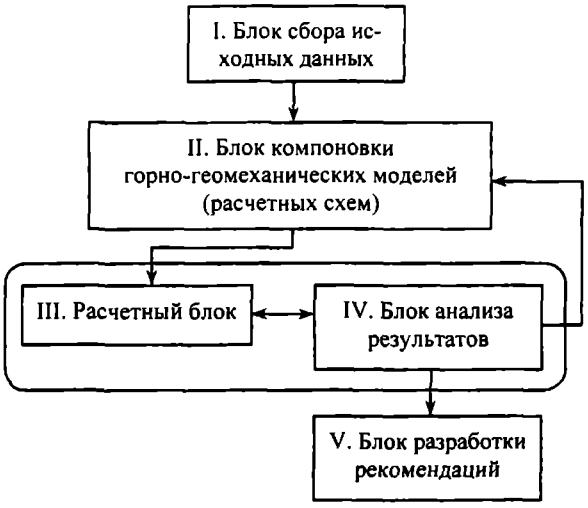


Рис.2. Схема к выбору безопасных параметров систем разработки с учетом сейсмической и тектонической активности горного массива

вращаются к этапу II и компонуют модели с новыми параметрами.

На последнем этапе разрабатывают рекомендации по итогам анализа результатов моделирования.

В блоке I выделяются пять подэтапов (рис.3):

I.1. Известными методами [1] оцениваются компоненты исходного поля напряжений σ_x, σ_y, σ_z в массиве (начальные условия для задания в расчетных схемах).

I.2. Оцениваются физико-механические свойства характерных комплексов горных пород вмещающего массива. Выбирается геомеханическая модель поведения массива (упругая, упругопластическая и др.), основываясь на соображении, что принятая модель поведения горных пород должна адекватно оценивать те особенности массива, которые имеют наиболее определяющее значение в рамках решаемой задачи.

I.3. Анализируются структурные особенности массива, т.е. его геологические характеристики, способные оказать существенное влияние на устойчивость сооружения, в частности, количество систем трещин, их геометрические параметры, данные о зонах ослабления пород, о геологических нарушениях в пределах участка строительства.

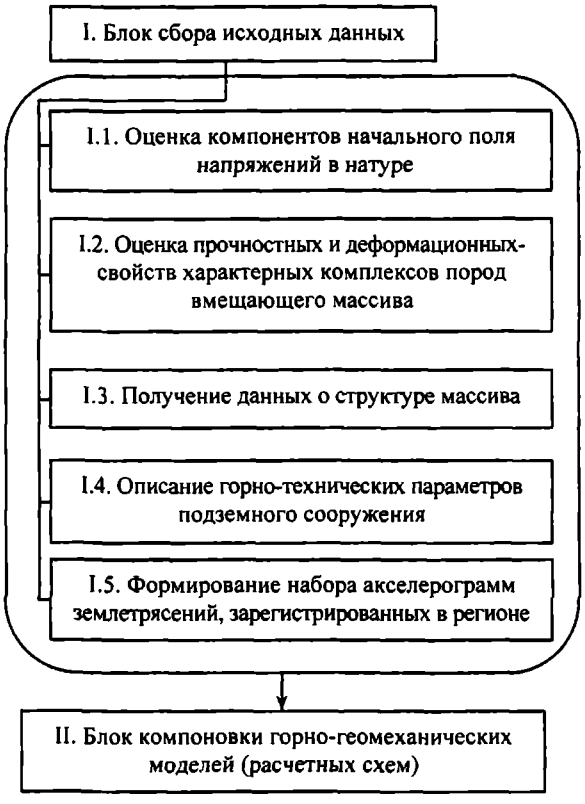


Рис.3. Схема блока I

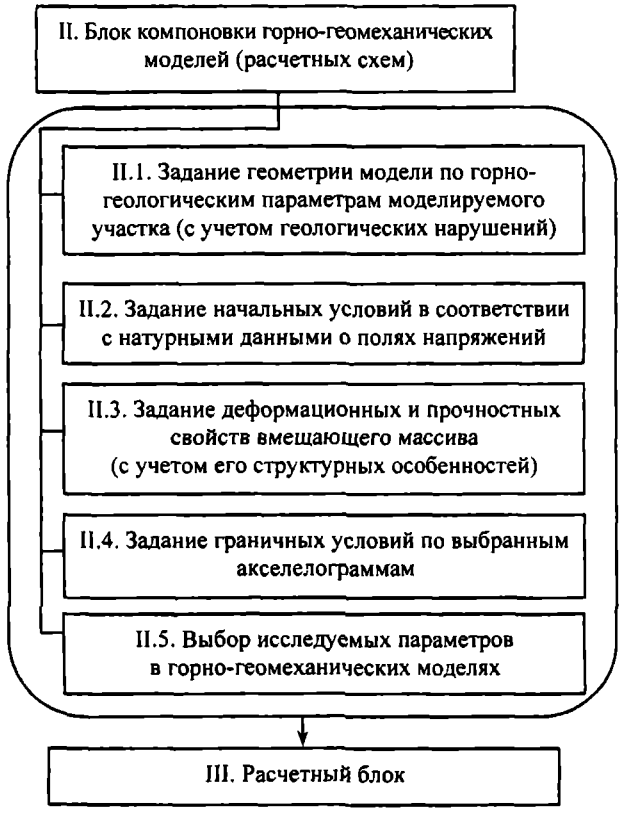


Рис.4. Схема блока II

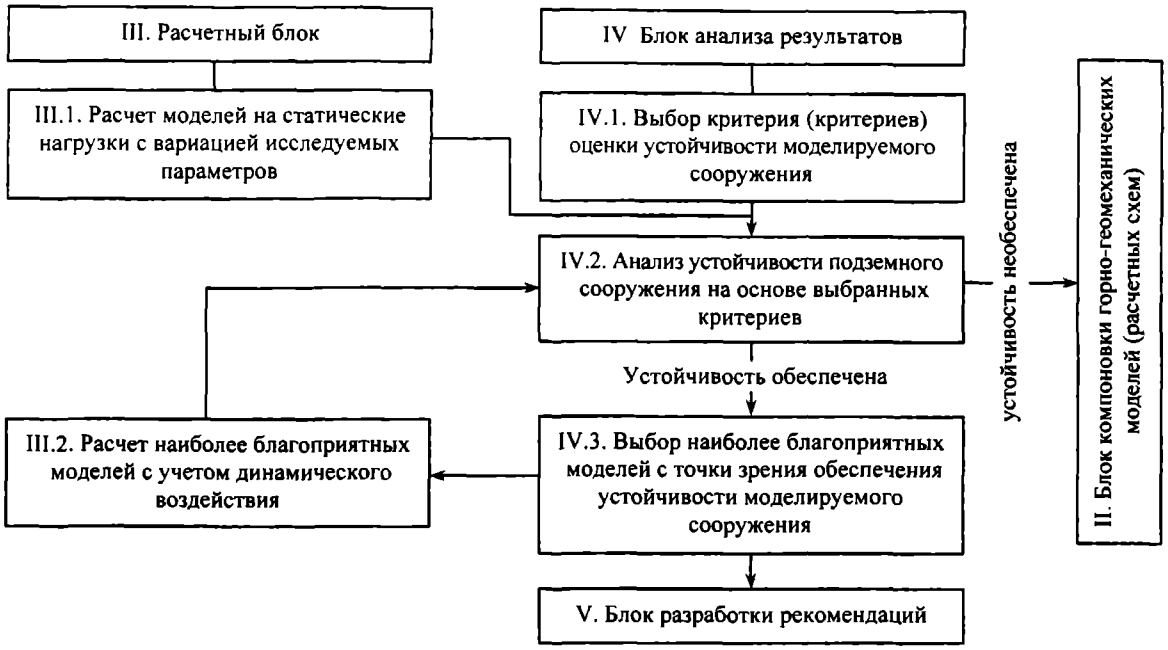


Рис.5. Схема блоков III и IV

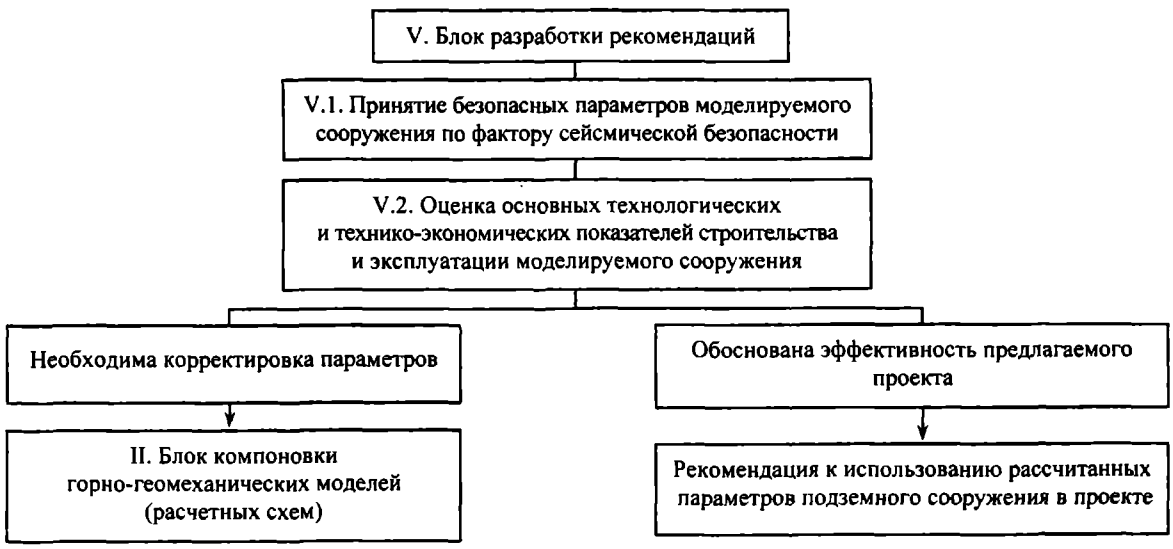


Рис.6. Схема блока V

I.4. Описываются горно-технические характеристики моделируемого участка: глубина, профиль поверхности, форма и размеры сооружения, тип и параметры крепления.

I.5. Для оценки степени сейсмического воздействия от землетрясения принимаются характерные для участка строительства акселерограммы (записи ускорений грунта). В качестве таковых рекомендуется принимать акселерограммы землетрясений с максимальной магнитудой, когда-либо зарегистрированной в данном регионе (с целью максимизации негативных влияющих факторов). Производится корректировка акселерограмм по глубине [5].

На этапе компоновки горно-геомеханических моделей (рис.4) формируются расчетные схемы в соответствии с данными, полученными на этапе I. Определяются исследуемые параметры (нагрузки на элементы крепи, изгибающие моменты, ускорения и т.п.).

На этапах III и IV производятся расчет и анализ выходных данных (рис.5).

Расчетный блок III включает два подэтапа: статический и динамический анализ. На первом к модели прикладываются гравитационные силы, а также, в случае необходимости, квазистатические тектонические силы и поровое давление грунтовых вод. На втором этапе моделируются динамические нагрузки от землетрясений путем приложения к базе модели ускорений.

После статического этапа расчетов III.1 анализируется состояние сооружения и ответственных элементов вмещающего массива и выбираются устойчивые варианты. В случае отсутствия приемлемых вариантов производится возврат на этап II и компоновка моделей с новыми параметрами.

На этапе IV.1 выбирается критерий, по которому оценивается устойчивость вмещающего массива.

Выбранные на этапе IV.3 модели рассчитываются на динамическое воздействие от землетрясения, далее производится анализ их устойчивости. При получении удовлетворительных результатов переходят к этапу V «Разработка рекомендаций» (рис.6). Если устойчивость не обеспечена, модель компонуется с новыми параметрами.

Компоновка моделей с новыми параметрами моделируемого объекта производится на основе анализа предыдущих результатов расчетов. Так, в случае превышения допустимых осевых усилий в крепи может быть повышена несущая способность за счет увеличения ее ширины, повышения плотности установки, задания более высоких прочностных свойств и т.д.

Рассмотренные в обобщенном виде методические подходы могут быть применены для исследования устойчивости различных подземных сооружений (заглубленных и приповерхностных тоннелей, камер ГЭС, трубопроводов, горных выработок и т.д.) в сейсмически активных регионах.

Настоящая работа выполняется в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мозер С.П.* Горная геомеханика: физические основы и закономерности проявлений геомеханических процессов при подземной разработке месторождений / С.П.Мозер, Е.Б.Куртуков. СПб: Недра, 2009. 136 с.

2. *Фотиева Н.Н.* Расчет крепи параллельных выработок в сейсмических районах / Н.Н.Фотиева, А.Н.Козлов. Москва: Недра, 1992. 231 с.

3. *Kawashima K.* Seismic Analysis of Underground Structures // Journal of Disaster Research. 2006. Vol.1. N 3. P.378-389.

4. *Hashash M.A.* Seismic design and analysis of underground structures / M.A.Hashash, J.Hook, S.Birger, Y.J.I-Chiang // Tunnelling and Underground Space Technology. 2001. Vol.16. P.247-293.

5. *Shimizu A.* Ground constant at point of installation KASSEM and analysis of recorded seismic motion // Gumagai Giho. 1986. Vol. 39. P.111-122.

REFERENCES

1. *Mozer S.P.* Rock mechanics: basic physics and mechanism of occurrence of geomechanical processes in underground mining / S.P.Mozer, E.B.Kurtukov. Saint Petersburg: Nedra, 2009. 136 p.

2. *Fotieva N.N.* Calculation of the support parameters of the parallel excavations in seismic regions / N.N.Fotieva, A.N.Kozlov. Moscow: Nedra, 1992. 231 p.

3. *Kawashima K.* Seismic Analysis of Underground Structures // Journal of Disaster Research. 2006. Vol.1. N 3. P.378-389.

4. *Hashash M.A.* Seismic design and analysis of underground structures / M.A.Hashash, J.Hook, S.Birger, Y.J.I-Chiang // Tunnelling and Underground Space Technology. 2001. Vol.16. P.247-293.

5. *Shimizu A.* Ground constant at point of installation KASSEM and analysis of recorded seismic motion // Gumagai Giho. 1986. Vol. 39. P.111-122.