

М.Г. Зерцалов

Геомеханика

Введение в механику скальных грунтов



М.Г. ЗЕРЦАЛОВ

ГЕОМЕХАНИКА

ВВЕДЕНИЕ В МЕХАНИКУ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ



Издательство АСВ

Москва

2014

Рецензены:

заведующий кафедрой «Механика грунтов и геотехника» д.т.н.,
проф. *З.Г. Тер-Мартirosян*;

директор НИЦ ОПП ОАО «Мосинжпроект», д.т.н., проф.,
заслуженный строитель РФ *В.Е. Меркин*

Зерцалов М.Г.

Геомеханика. Введение в механику скальных грунтов: Учебник.
– М.: Издательство АСВ, 2014. – 352 с.

ISBN 978-5-4323-0040-9

В учебнике даны основные сведения о природе скальных грунтов и показателях их физических свойств. Рассмотрены вопросы, связанные с определением механических характеристик скальных грунтов, их деформированием и разрушением. Дано понятие скального массива и рассмотрены факторы, приводящие к его трещиноватости, неоднородности и анизотропии. Особое внимание уделяется масштабному фактору и построению геомеханической модели. Рассмотрены механические свойства скального массива и способы их определения, формирование природного напряжённого состояния и проблемы фильтрации. Отдельно рассматривается использование механики скальных грунтов при проектировании подземных сооружений, расчёте устойчивости скальных склонов и откосов, а также оснований наземных сооружений.

Книга предназначена для студентов строительных вузов, а также представляет интерес для широкого круга специалистов строительного профиля, научных работников и аспирантов, занимающихся проблемами механики скальных грунтов.

ISBN 978-5-4323-0040-9

© Издательский дом АСВ, 2014

© Зерцалов М.Г., 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ к первому изданию

Предлагаемая вниманию читателей книга проф. М.Г. Зерцалова является первым отечественным учебником по механике скальных грунтов и скальных массивов, подготовленным специалистом, работающим в области строительства. До сих пор авторами подобных, весьма немногочисленных, учебников были, как правило, специалисты по горному делу. Во многом это связано с особенностями развития раздела науки о взаимодействии горных пород и объектов, создаваемых человеком.

Как отмечал еще в 1977 г. И.А. Турчанинов, начало этого направления в горном деле было положено фундаментальными трудами М.М. Протодьяконова (1907 г.) и П.М. Леонтовича (1913 г.), посвященными определению давления горных пород на рудничную крепь, обрушению и оседанию пород в рудниках и влиянию этих процессов на дневную поверхность земли. Оформление самостоятельного раздела горной науки – **механики горных пород** – И.А. Турчанинов относит к 1934 г., когда была издана первая работа П.М. Цымбаревича с таким же названием.

Предметом механики горных пород явилось изучение прежде всего массивно-кристаллических («твердых») или, как их часто называют, скальных пород. Методологически исследование свойств и поведения этих пород при проходке горных выработок долгое время основывалось на испытаниях образцов, а переход к скальным массивам осуществлялся с помощью специальных эмпирических коэффициентов, учитывающих строение массивов.

В 1925 г. К. Терцаги публикует фундаментальную работу «Строительная механика грунтов», в 1926–1933 гг. Н.М. Герсеванов издает классический труд «Основы динамики грунтовой массы», в 1934 г. выходит первый в мире курс «Основы механики грунтов» Н.А. Цытовича, в 1934–1936 гг. – серия основополагающих работ Н.Н. Маслова по вопросам геотехнических исследований и В.А. Флорина – о фильтрационной консолидации грунтов. Эти работы знаменовали возникновение новой области науки – **механики грунтов**, ставшей базой расчетно-теоретического обоснования подготовки оснований, устройства фундаментов зданий и сооружений, возведения земляных насыпей, дамб и плотин.

Предметом механики грунтов явилось изучение физико-механических свойств и процессов, происходящих в дисперсных («рыхлых») горных породах – грунтах при строительстве зданий и сооружений. Вопросы, относящиеся к скальным массивам, рассматривались в работах по механике грунтов скорее как исключение, нежели правило.

Существенное влияние на дальнейшее развитие этих дисциплин оказало начавшееся в середине XX в. широкомасштабное строительство крупных гидротехнических сооружений в предгорных и горных районах. Исследователи понимали, что имеющихся знаний о массивах скальных пород недостаточно для строительства сооружений повышенной ответственности.

В 1961 г. Л. Мюллер, один из крупнейших мировых специалистов, пишет: «Геомеханики (специалисты по механике скальных пород) отстали на 30 лет от специалистов по механике грунтов, на 50 лет - от специалистов по бетону и на 100 лет, если не больше, – от статиков. Настало время изменить это положение». Начинается интенсивное развитие **механики скальных пород**, иногда называемой механикой скальных грунтов, скальных массивов.

В нашей стране появляются обобщающие работы К.В. Руппенеята и Ю.Н. Либермана «Введение в механику горных пород» (1960 г.), П.Д. Евдокимова и Д.Д. Сапегина «Прочность, сопротивляемость сдвигу и деформируемость сооружений на скальных породах» (1964 г.), Д.П. Прочухана, С.А. Фрида и Л.К. Доманского «Скальные основания гидротехнических сооружений» (1971 г.), автора настоящего предисловия – под тем же названием (1975 г.), И.А. Турчанинова, М.А. Иофиса и М.А. Каспарьяна «Основы механики горных пород» (1977 г.) и др. Одновременно публикуются и крупные работы зарубежных авторов (в скобках указан год выхода книги в русском переводе): Ж. Талобр «Механика горных пород» (1960 г.), Л. Мюллер «Механика скальных массивов» (1971 г.), Ч. Джегер «Механика горных пород и инженерные сооружения» (1975 г.) и проч.

Однако все упомянутые и другие, более поздние работы представляют собой научно-технические монографии. Они не дают студентам начальной информации, необходимой для последующего овладения знаниями и решения сложных инженерных задач при строительстве в массивах скальных пород. В этом отношении учебник проф. М.Г. Зерцалова, включивший и основные идеи многочисленных предшественников, и оригинальные разработки автора, полностью предоставляет студентам такую возможность.

*Академик Российской инженерной академии,
заслуженный деятель науки и техники РФ,
Почетный строитель Москвы, почетный профессор МГСУ,
доктор технических наук, профессор*

С. Б. Ухов

ПРЕДИСЛОВИЕ ко второму изданию

Второе издание учебника доктора технических наук, профессора М.Г. Зерцалова «Геомеханика. Введение в механику скальных грунтов» (первое издание называлось «Механика грунтов (введение в механику скальных грунтов)», Москва, 2006 г.) представляет несомненный интерес, так как восполняет пробел, который имел место в гидротехническом строительстве в частности и строительстве вообще в области возможной оценки и определения основных деформационных и прочностных характеристик скальных грунтов как оснований сооружений. Именно гидротехническое строительство является основным потребителем знаний о скальных грунтах в силу обширности площади основания, величин действующих напряжений (их знакопеременности) и вызываемых этими напряжениями деформаций. Транспортное строительство также является очень важным потребителем этой тематики. Трудно представить строительство транспортного тоннеля под Ла-Маншем или транспортного Северо-Муйского тоннеля без глубоких и всесторонних знаний механики скальных пород.

Обычно в учебной литературе по гидротехническим сооружениям давались краткие сведения о скальных основаниях. Первое издание этого учебника во многом изменило положение дел, так как появился собранный воедино обширный материал по свойствам скальных пород, их отечественная и существующие зарубежные классификации, что позволяет более полно понимать зарубежные публикации.

Первые четыре главы расширяют и систематизируют знания об основных свойствах скальных грунтов.

В четвёртой главе уже начинают рассматриваться специальные свойства скальных массивов, связанные с трещиноватостью. Это исключительно важная глава, требующая внимательного изучения, дана достаточно полно.

Критерий разрушения трещиноватого скального массива – важнейший элемент построения модели скального грунта. В главе рассматриваются различные условия прочности, включая условие, следующее из теории разрушения (начало теории положений Гриффитса). К сожалению, эти критерии не дают уверенного описания прочности. В выводах надо было бы рекомендовать критерий прочности для использования. Думаю, что лучше Мора–Кулона ничего не придумано.

В главе 5 дано описание принципов оценки трещиноватости. Эта глава обогащает инженера систематизацией описания трещиноватости массива, включая положение трещин в пространстве и их свойства, т.е. поведение скальных блоков при взаимодействии друг с другом через трещину (через шероховатые поверхности, которые представляют из себя берега трещин). Особое внимание уделено дилатансии.

Большое значение имеет классификация скальных массивов для понимания и упорядочивания знаний, для количественного перехода от

качественных представлений. Различные классификации приводятся в учебнике.

Восьмая глава посвящена прочности скального массива. В ней рассмотрены различные подходы к решению поставленной задачи. Но сколько ни рассматривается подходов, лучшим оказывается условие прочности Кулона и Хоска–Брауна, в котором меняются коэффициенты, определяемые в зависимости от характера описания трещиноватости по таблицам.

Все рассуждения и теории деформируемости и прочности безжизненны, если нет эксперимента («Теория, мой друг, суха, но зеленеет жизни древо»). Гете, «Фауст»). Именно этому посвящена девятая глава. Эксперименты в тоннельной выработке и сдвиг бетонного массива по скале в основании бетонной плотины – все это необходимо при оценке работоспособности скального массива. Аварии, которые имели место в гидротехнической области, чаще всего связаны с недочетом несущей способности основания. Именно поэтому эта глава становится одной из самых ответственных. В ней студент (будущий инженер) знакомится с тем многообразием возможных испытаний скалы и для целей проходки тоннелей, и при проектировании и строительстве бетонных плотин. Методы углубленные, требующие много времени и денег, или ускоренные методы.

Изучение фильтрации в скальном массиве, исключительно важный элемент проектирования, и он требует очень тщательного анализа фильтрационных свойств скалы. В настоящее время наметился двойной подход к этой проблеме: движение воды по трещинам и движение воды между расчетными трещинами. Все это нашло отражение во втором издании учебника.

Думаю, что и студент, и инженер найдут много интересного в этом учебнике по изучению фильтрационных свойств скального массива. Автор связывает фильтрационный поток и НДС массива, что совершенно верно. К сожалению, даже инженеры, считающиеся грамотными, этой связи часто не понимают.

Очень полезно сопоставление оценок водопоглощения, принятое за рубежом в люжонах и у нас. Главы 11, 12 и 13 новые для данного учебника – практическое приложение изложенного ранее материала к конкретным условиям проектирования и строительства: подземных выработок, склонам и откосам, основаниям. Главы содержат конкретные рекомендации для проектирования.

Думаю, что книга профессора М.Г. Зерцалова «Геомеханика. Введение в механику скальных грунтов» очень полезна и будет широко использоваться в учебном процессе не только на кафедрах механики грунтов, но и на специальных кафедрах.

*Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор*

Л.Н. Рассказов

От автора

Предлагаемый вниманию читателя учебник является переизданием вышедшего в 2006 г. и предназначенного для строительных вузов, учебника «Механика грунтов (введение в механику скальных грунтов)».

Как и предыдущие издания, он основан на материале лекций, читаемых студентам Национального исследовательского университета МГСУ. В частности, специалистам, обучающимся по специальности 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специализация 271101.02 «Строительство подземных сооружений», и магистрам, обучающимся по направлению подготовки 270800 «Строительство», профили подготовки: «Проектирование, строительство и реконструкция подземных сооружений», «Основания и фундаменты зданий и сооружений» и «Механика грунтов при проектировании сооружений».

В методическом отношении построение учебника не изменилось. В начальных четырёх главах излагаются основы механики ненарушенных скальных грунтов. Приведены примеры их геологической и геомеханической классификаций. Рассмотрены генезис и особенности структурного строения скальных грунтов, их деформационные и прочностные характеристики, ползучесть и релаксация. В этом же разделе приведены сведения о критериях разрушения, водопроницаемости и фильтрационных особенностях скальных грунтов.

Пятая глава целиком посвящена изучению поведения трещин в скальных массивах. Рассмотрены способы определения их положения в пространстве и использование для этих целей стереографических проекций. Особое внимание в этой главе уделено специфике деформирования и способности сопротивления трещин сдвигу, а также влияние на эти процессы шероховатости стенок трещин и наличия заполнителя.

Материал, изложенный в рассмотренных выше главах, позволяет перейти к изучению поведения скальных массивов при их взаимодействии с наземными и подземными сооружениями.

В шестой главе даются определения скального массива, используемые геологами и геомеханиками. Рассматриваются понятия

структуры и состояния скального массива, а также классификации по различным его характеристикам.

Седьмая глава посвящена рассмотрению геомеханических классификационных систем, позволяющих оценить инженерные качества скального массива. В этой же главе обсуждается явление масштабного эффекта, оказывающего решающее влияние на его физико-механические характеристики, а также принципы построения геомеханических моделей скальных массивов.

В восьмой и девятой главах изложены основные подходы, используемые в настоящее время для определения природного напряжённого состояния, деформационных и прочностных характеристик скальных массивов расчётным путём и в натуральных условиях. В десятой главе рассмотрены задачи исследования водопроницаемости и фильтрации в скальных массивах.

Одиннадцатая, двенадцатая и тринадцатая главы посвящены использованию механики скальных грунтов при проектировании подземных сооружений, устойчивости скальных откосов, а также при проектировании скальных оснований наземных сооружений.

По сравнению с вариантом 2006 г. в предлагаемом варианте учебник претерпел ряд изменений. Прежде всего обновлены названия всех актуализированных в последнее время и упомянутых в учебнике нормативных документов, а также внесены необходимые изменения в имеющиеся на них ссылки в тексте. Кроме того, изменилось содержание отдельных глав. Так, восьмая и тринадцатая главы расширены и дополнены новым материалом. Напротив, в шестой и седьмой главах использование ссылок на существующие литературные источники позволило сократить их объёмы. Незначительные изменения имеются и в других главах.

В заключение автор выражает большую благодарность за содействие в издании учебника А.М. Папикяну и аспиранту А.Н. Симутину за помощь, оказанную при его оформлении.

М.Г. Зерцалов

ВВЕДЕНИЕ

МЕХАНИКА СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ И ОБЛАСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Исследования физических и механических свойств горных пород начались во второй половине XIX в., но как прикладная дисциплина, используемая при проектировании и строительстве ответственных наземных и подземных сооружений, механика скальных грунтов развилась в самостоятельную науку только недавно. Годом рождения механики скальных грунтов как самостоятельного раздела инженерной науки можно считать 1964 г., когда в Австрии профессором Л. Мюллером было образовано Международное общество по механике скальных пород. На конгрессе было принято следующее определение этой науки: «Механика скальных пород является теоретической и прикладной наукой о механическом поведении скальной породы, составляя раздел механики, рассматривающий реакцию скальной породы на силовые воздействия окружающей ее физической среды».

Механика скальных пород, наряду с механикой грунтов, является важнейшей инженерной дисциплиной, в ней используются многие положения механики грунтов, например закон Кулона, связывающий прочность грунта на сдвиг с нормальными и касательными напряжениями. В то же время поведение скальных пород значительно сложнее, чем у грунтов, особенно, если в работу вовлекаются большие объемы скальных массивов, что характерно для высоконапорных гидросооружений и подземных выработок большого пролета. Это объясняется прежде всего тем, что свойства породного скального массива определяются главным образом особенностями его структуры, такими как разломы, поверхности напластования, системы трещин различной ориентации и т.д., и в меньшей степени – особенностями структуры пород, слагающих массив.

Учитывая это, в механике скальных грунтов необходимо различать два понятия: *ненарушенные скальные грунты* – кристаллический материал, прочностные и деформационные характеристики которого определяются как свойствами составляющих его минералов и жестких связей между ними, так и дефектами его структуры (пустоты, микротрещины, дислокации и т.д.); *скальный массив* – сложнейшее геологическое образование, представляющее собой совокупность блоков одной или нескольких горных пород, выделяемых в массиве трещинами различных порядков, причём блоки, в свою очередь, могут разделяться нарушениями сплошности на более мелкие отдельные, образуя иерархическую систему. В этом случае, как правило, инженерные свойства подобной системы определяются в значительной мере наличием в ней структурных дефектов и их размерами. Это, в свою очередь, опре-

деляет одну важную особенность скального массива – интегральные физико-механические характеристики выделяемых в нём областей различных размеров будут существенно различаться.

Очень важным фактором при изучении скального массива является также его природное состояние, которое в значительной мере зависит от структурных особенностей массива и может существенно повлиять на его взаимодействие с сооружением.

Возникает вопрос: почему только в середине 60-х гг. XX в. механика скальных грунтов оформилась в отдельную науку. Это можно объяснить тем, что именно в это время в горных районах начали возводиться большие плотины и крупные подземные выработки. Кроме того, в это же время появились численные методы расчета и различные методы моделирования, позволившие исследовать эти сооружения в сложных инженерно-геологических условиях с воспроизведением многообразных граничных условий. Дополнительным толчком, ускорившим развитие механики скальных грунтов, явилась авария на плотине Мальпассе (1959 г.), при которой погибло 450 человек и еще большая катастрофа на плотине Вайонт (1963 г.).

Механика скальных грунтов наряду с изучением поведения породного массива рассматривает и специальные методы проектирования и строительства взаимодействующих с ним инженерных сооружений. Это объясняется тем, что скальные породы, как и грунты, существенно отличаются от других строительных материалов и требуют особого подхода при проектировании. Так, имея дело с бетонными и железобетонными конструкциями, инженер в первую очередь собирает действующие на сооружение внешние нагрузки, а затем определяет форму и размеры сооружения и подбирает соответствующие по прочности строительные материалы. В скальных же грунтах действующая на них нагрузка имеет во многих случаях гораздо меньшее значение, чем силы, возникающие при перераспределении в процессе строительства существующих в породном массиве естественных напряжений. При строительстве инженерных сооружений в горных районах знание механики скальных грунтов необходимо при решении очень широкого круга проблем. В первую очередь к ним относятся: определение сложности геологического строения массива скальных пород, оценка степени их разрабатываемости и буримости, выбор типа и месторасположения сооружения, расчет напряжённо-деформированного состояния и устойчивости скальных массивов, разработка мероприятий по укреплению скальных откосов и т.д. К числу сооружений, к которым предъявляются наиболее жёсткие требования с точки зрения безопасности их оснований, следует отнести высоконапорные плотины, передающие высокие нагрузки на скальные массивы. Помимо оценки местной прочности основания в этом случае необходимо также изучать воз-

возможность возникновения оползней в бортах водохранилища. Так, громадный оползень, случившийся на гидроузле Вайонт, привел к переливу воды через гребень арочной плотины и вызвал гибель более чем 2000 человек, проживавших в нижнем бьефе. Знание механики скальных массивов может оказаться полезным также при выборе материалов каменной наброски, для защиты откосов плотины от размыва, при использовании в качестве заполнителя для бетона, для устройства различных фильтров и т.д. При проектировании высоконапорных плотин расчеты напряженно-деформированного состояния и устойчивости скальных оснований являются обязательными. На основании этих расчетов определяются коэффициенты устойчивости системы «сооружение–основание», а также различные конструктивные мероприятия.

При возведении подземных сооружений механика скальных грунтов играет не менее важную роль. Любое подземное сооружение независимо от его назначения должно отвечать требованиям безопасности, которые во многом определяются напряженным состоянием, структурой и нарушениями сплошности породного массива. Опыт освоения подземного пространства городов в ряде стран, например в Норвегии, показал, что, только имея всестороннее представление о поведении скального массива, можно построить большие подземные концертные и спортивные сооружения, возводить для хранения различных веществ гигантские подземные хранилища. Те же требования предъявляются и к подземным гидростанциям, которые, имея в горных районах несомненные преимущества, требуют размещения в подземном пространстве обширных машинных залов и других вспомогательных помещений. Их проектирование также невозможно без знаний механики скальных грунтов.

Используется в самых разных направлениях механика скальных грунтов и при проходке подземных выработок. Например, вопрос – поддерживать ли выработку в процессе добычи полезных ископаемых полностью в устойчивом состоянии или давать породе деформироваться – может быть решен только с учетом особенностей строения и напряженного состояния породного массива. Необходима механика скальных грунтов и при проектировании проходческих машин, поскольку проходка тоннелей и разработка подземных выработок ведутся с учетом реальных механических характеристик скального массива.

Строительство автострад, железных дорог, каналов, трубопроводов и напорных водоводов в горных районах связано с проектированием откосов. Задача определения их устойчивости и необходимости крепления решается на основе методик, разработанных в специальном разделе механики скальных грунтов. Тесно связана эта наука и с вопросом трассировки указанных выше сооружений. Правильно выбранная трасса позволяет экономить значительные сред-

ства. Решение об ее изменении или переносе части сооружений под землю в значительной мере зависит от состояния массива горных пород. Расположение напорных водоводов под землей, например, может дать существенную экономию средств, так как часть напряжений, возникающих в металлической облицовке, можно передать на окружающую породу, однако обоснование такого решения также требует знания механики скальных грунтов.

Особую роль играет механика скальных грунтов при строительстве подземных атомных станций в горных районах. Радиоактивность и высокие температуры предъявляют повышенные требования к качеству горных пород, поэтому строительство подземных атомных станций регламентируется очень жесткими требованиями. Кроме того, выработка электроэнергии на подобных станциях связана с производством высокотоксичных отходов, подлежащих хранению в течение долгого времени в специально пройденных для этих целей камерах, что требует высокого уровня мер безопасности, гарантирующих защиту вмещающего камеру скального массива от радиационного загрязнения.

Суммируя всё изложенное выше, можно сказать, что механика скальных грунтов является важнейшей частью общей технической механики и широко используется в практической деятельности. Благодаря достижениям механики скальных грунтов стало возможным строительство большого числа уникальных инженерных сооружений. В то же время в исследованиях скальных массивов остаётся ещё много нерешённых проблем. К ним, в частности, относятся вопросы, связанные с определением строения и структурных особенностей скального массива, с исследованиями его деформационных и прочностных свойств и влиянием на них масштабного фактора. Особое внимание следует уделять построению геомеханических моделей и назначению правильных граничных условий, без чего невозможен выбор адекватной расчетной модели и соответствующего метода расчёта.

Указанные проблемы, а также исследование механизмов деформирования и разрушения скальных грунтов и массивов, оставаясь предметом изучения механики скальных пород, определяют её развитие как науки на ближайшее будущее.

Вопросы к введению

1. В каком году механика скальных грунтов выделилась в самостоятельный раздел инженерной науки?
2. Какие причины обусловили появление этой дисциплины?
3. Дайте определения понятиям «ненарушенный скальный грунт» и «скальный массив».

ГЛАВА 1

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕНАРУШЕННЫХ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НЕНАРУШЕННЫХ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

1.1. В геологии под термином «горная порода» (Ананьев, Потапов, 2001) обычно понимается любая составляющая земной коры, которая представляет многокомпонентную систему природного образования, включающую твердую, жидкую и газообразную фазы. Горная порода состоит из минералов, образующих композицию более или менее постоянного и характерного для данной породы состава. Этот состав, а также характер механических связей между минеральными частицами определяют свойства горных пород. По минералогическому составу различают *мономинеральные* и *полиминеральные* породы. Большинство пород принадлежит ко второй группе. Примерами мономинеральных пород являются песчаник, известняк, мрамор, гипс и др. Можно выделить несколько важнейших групп порообразующих минералов, оказывающих существенное и к тому же различное влияние на свойства пород:

1. Кварцевые минералы – кварц, кремьень, халцедон и др.
2. Силикатные материалы – полевой шпат, пироксен, слюда и др.
3. Карбонатные и глинистые минералы – кальцит, доломит, каолинит и др.
4. Легкорастворимые минералы – гипс, галит и др.

Наивысшей прочностью и наименьшей деформируемостью обладают кварцевые породы с кремнистой цементацией (кремнистые песчаники, кварциты). Высокую прочность имеют силикатные породы, у которых, однако, с повышением содержания слюдистых минералов показатели прочности снижаются. При наличии в породе глинистых и легко растворимых минералов прочность и упругие свойства породы резко уменьшаются.

Упомянутый выше характер механических связей между составляющими породу минеральными частицами определяет ее тип. Различают следующие типы горных пород: *текущие породы* – в этих породах частицы минералов способны двигаться с насыщающей их жидкостью (пески-плывуны); *рыхлые зернистые породы* – породы, в

которых частицы одного или нескольких минералов не связаны друг с другом (пески, гравий, галька); *связные породы* – минеральные частицы в этих породах соединены между собой водно-коллоидной связью. При этом, в зависимости от степени насыщения этих пород водой изменяется их пластичность (суглинки, глины); *скальные и полускальные породы* – породы, сложенные минеральными твердыми частицами, которые связаны друг с другом жесткими связями, обеспечивающими любой породной отдельности сохранение формы. Если, при выделении из горного массива образца такой породы, он сохраняет свою целостность и не распадается на части, порода называется *ненарушенной*.

С инженерной точки зрения (ГОСТ 25100-2011) породы первых трёх типов относятся к классу *дисперсных* (нескальных) *грунтов* и изучением закономерностей их поведения при приложении нагрузки и взаимодействия с сооружениями занимается *механика грунтов*. Породы, в которых минеральные частицы связаны жесткими связями, относятся к классу *скальных грунтов* (ГОСТ 25100-2011). Их поведение изучается *механикой скальных грунтов*.

Скальные грунты подразделяются на две группы. Скальные – грунты, имеющие жесткие структурные связи кристаллического типа. Полускальные – грунты, имеющие связи цементационного типа.

1.2. Как показали экспериментальные исследования, физические и механические характеристики скальных грунтов изменяются в широких пределах, что требует их классификации. Имеется два вида классификаций скальных грунтов: геологические и геомеханические (инженерные).

1. Геологические – классифицируют скальные грунты по происхождению или генезису, строению, взаимному расположению.

2. Геомеханические – классифицируют скальные грунты на основе прочностных или упругих характеристик, определяющих механические свойства грунтов.

Очень важной для инженеров является классификация по происхождению или генезису, так как она позволяет сделать предварительную оценку свойств скальных грунтов. В соответствии с этой классификацией все скальные грунты представляют собой породы, которые делятся на три подгруппы (ГОСТ 25100-2011):

- магматические (изверженные) породы;
- осадочные породы;
- метаморфические породы.

Магматические породы образуются при застывании магмы либо внутри земной коры, либо после ее извержения. В первом случае они называются интрузивными или глубинными, во втором – эффузивными, или излившимися.

Глубинные породы формируются в условиях высокой температуры и большого давления внутри земной коры при наличии газов и паров воды. Магма при этом остывает равномерно в течение большого промежутка времени, в результате чего образуются плотные, массивные горные породы. К глубинным породам относятся: *габбро, граниты, диориты, сиениты*.

Излившиеся породы, наоборот, образуются в условиях быстрого остывания магмы на поверхности земли при небольшом давлении и невысокой температуре с интенсивным выделением газов и паров воды в атмосферу, в результате чего породы имеют большое количество пор и аморфного стекла. К излившимся породам относятся: *базальт, обсидиан, пемза, туф*. Излившиеся породы делятся на новые и древние. Последние, благодаря своему более древнему возрасту зачастую бывают значительно разрушены процессами выветривания.

Минеральный состав магматических пород характеризуется большим разнообразием. Тем не менее, если проанализировать наличие минералов в магматических породах, то на первом месте будут полевые шпаты (60%), затем амфиболы пироксены (12%), слюда (4%). В меньшем количестве присутствуют оливин, апатит, корунд, рудные материалы. Наличие в магматических породах минералов типа карбонатов и глинистых свидетельствует о выветрелости магматической породы, поскольку эти минералы образовались за счёт её разрушения в процессе выветривания.

Осадочные породы являются наиболее характерными для поверхности земли, так как занимают около 75% её площади. Остальные 25% приходятся на долю, выходящих на поверхность магматических и метаморфических пород. Толща осадочных пород изменяется от нескольких метров до километров. Формирование осадочных пород протекает в течение долгого времени и проходит несколько этапов:

разрушение – существовавшие магматические, метаморфические и осадочные породы разрушаются благодаря выветриванию, воздействию воды, колебанию температур;

перенос – продукты разрушения ветром и водой переносятся на новое место, где они откладываются, образуя рыхлые осадки;

формирование – рыхлые осадки начинают уплотняться и приобретать свои собственные свойства, в результате чего образуются осадочные породы *обломочного* происхождения (*галечники, пески, глины*). Из осадков, получившихся в результате выпадения солей из водных растворов, формируются породы *химического* происхождения (*известняки, мергели, гипс, каменные соли*). Одновременно на

поверхности земли идёт активная жизнедеятельность растительных и животных организмов. После их отмирания из остатков постепенно образуются породы *органогенного* происхождения (*известняки-ракушечники, опоки, торф*).

Минеральный состав осадочных пород очень разнообразен: обломки различных пород, первичные материалы исходных пород, вторичные минералы – продукты разрушения первичных материалов и т.д. Минералы осадочных пород могут находиться в кристаллическом, аморфном и коллоидном состояниях. Большинство осадочных пород полиминеральные.

Метаморфические породы образуются в условиях высокого давления и температуры при наличии химически активных газов и растворов в так называемой зоне метаморфизма. Зона метаморфизма находится в земной коре под поясом выветривания, где происходит механическое и химическое разрушение магматических и осадочных пород, и поясом цементации, где рыхлые осадки уплотняются, цементируются и преобразуются в осадочные породы. Она начинается приблизительно с глубины 1 км и простирается в глубь земной коры.

Метаморфические породы отличаются большим разнообразием, обусловленным, с одной стороны, разнообразием исходного материала, а с другой – воздействием различных факторов метаморфизма.

Форма залегания метаморфических пород соответствует форме залегания горных пород, из которых они образовались. В случае осадочных пород метаморфические породы образуют слои, а в случае магматических пород сохраняется их прежняя форма залегания. В метаморфических породах выделяется два типа пород: массивные (зернистые) – *кварцит* и *мрамор*; сланцеватые – *гнейс*, *различные сланцы*. Минеральный состав часто соответствует минеральному составу первичной породы.

Все горные породы характеризуются строением, к которому относят размеры, форму, взаимное расположение и способ соединения слагающих их минеральных частиц. Важнейшими признаками строения пород являются их *структура* и *текстура* (Турчанинов и др., 1977).

Под *структурой* понимают степень кристаллизации пород (кристаллическое или аморфное их строение), размеры, форму минеральных частиц и характер связей между ними. По степени кристаллизации пород выделяют: полнокристаллические, неполнокристаллические, стекловатые, порфиновые и обломочные структуры.

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Горные породы. Определение ненарушенных скальных грунтов и их геологическая классификация. Физико-механические характеристики. Геомеханическая классификация ненарушенных скальных грунтов	13
Глава 2. Деформирование скальных грунтов в условиях сжатия и их реологические свойства. Фильтрация в скальных грунтах	34
Глава 3. Испытания образцов ненарушенных скальных грунтов.....	60
Глава 4. Критерии прочности и их приложение к разрушению скальных грунтов	73
Глава 5. Трещины скального массива и их свойства.....	83
Глава 6. Скальные массивы. Основные понятия. Трещиноватость, анизотропия и неоднородность скальных массивов	105
Глава 7. Классификация скальных массивов. Масштабный эффект. Геомеханические модели скальных массивов	122
Глава 8. Деформирование и разрушение скальных массивов	146
Глава 9. Экспериментальные исследования скальных массивов	175
Глава 10. Фильтрация в скальных массивах.....	198
Глава 11. Механика скальных грунтов при проектировании подземных сооружений.....	214
Глава 12. Механика скальных грунтов при расчёте устойчивости склонов и откосов	256
Глава 13. Механика скальных грунтов при проектировании оснований сооружений	291
Литература	342

Учебник

Михаил Григорьевич **Зерцалов**

ГЕОМЕХАНИКА

ВВЕДЕНИЕ В МЕХАНИКУ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

Компьютерная верстка: *Д.А. Матвеев*

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Дизайн обложки: *Т.А. Негрозова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 25.07.14.

Формат 60x90/16. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Усл. 22 п.л. Заказ № .

ООО «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26,
отдел реализации к. 511, тел., факс: (499)183-56-83;

e-mail: iasv@iasv.ru, <http://www.iasv.ru/>

