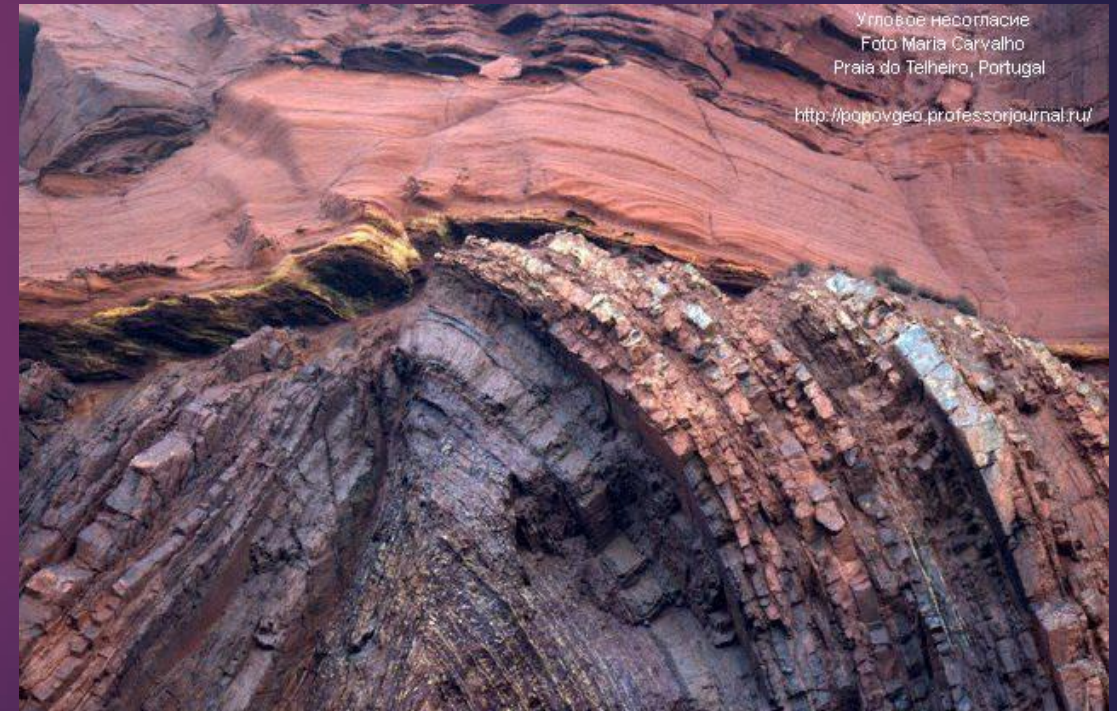


СТРУКТУРА И НАРУШЕННОСТЬ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

В результате влияния генетических, тектонических, горообразовательных, гидротермальных процессов, высоких температур и давления, поднятий и опусканий земной поверхности, горные породы претерпевают структурные изменения, сопровождаются образованием разломов, зон дробления, систем трещин складчатости, сбросов, сдвигов, взбросов и др.



Нарушения сплошности массива горных пород являются поверхностями (зонами) его ослабления, которые в благоприятных условиях реализуются в поверхности (зоны) скольжения, межблоковых и межслоевых подвижек.

В зависимости от интенсивности трещиноватости пород (количества трещин на 1 м протяженности массива) и линейных размеров блоков (L , м) различают структуры массивов:

- крупноблочные ($L > 1$),
- среднеблочные ($0,3 < L < 1$)
- мелкоблочные ($L < 0,3$).

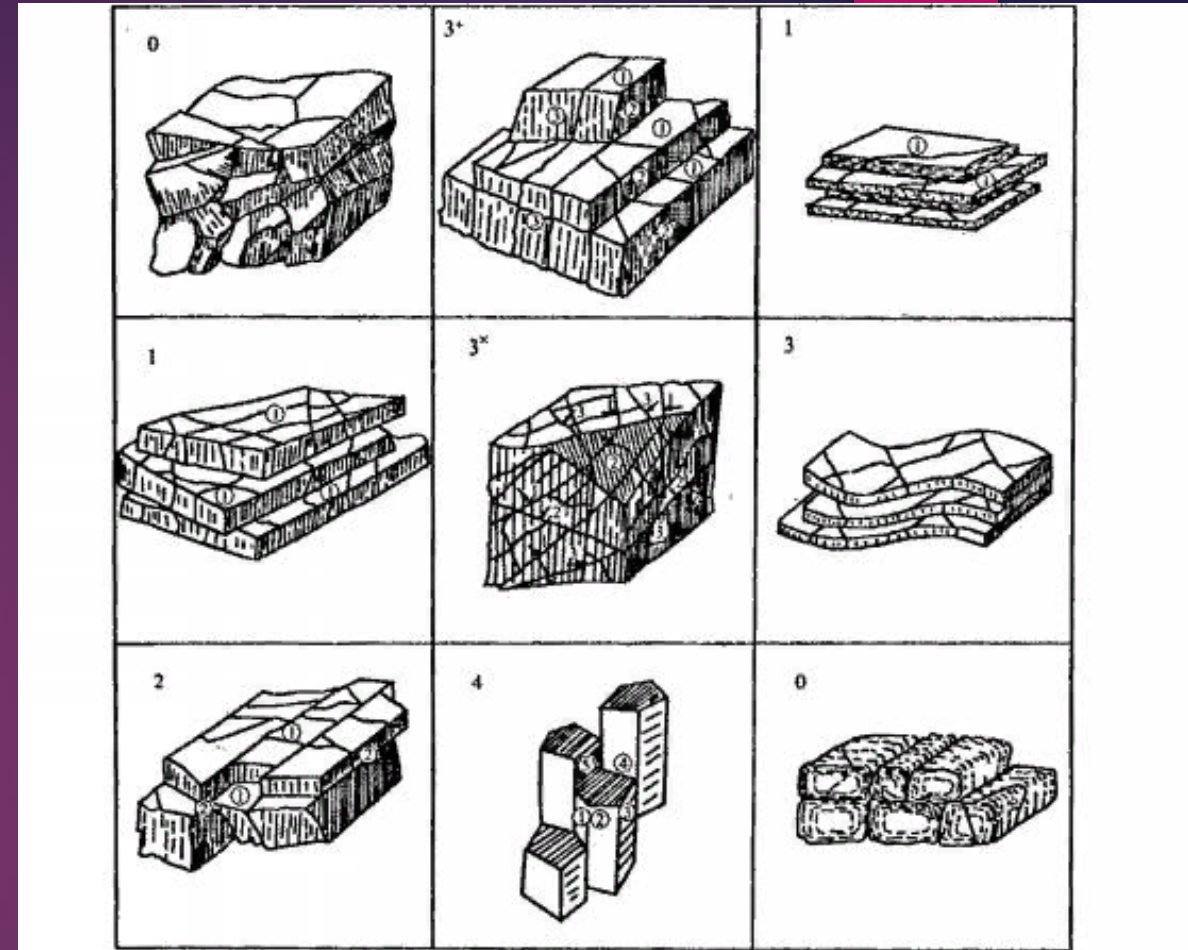


Рис. 1.1. Модели типов блочности массивов скальных пород (по М. Матула и Р. Хольцеру, 1976, 1978):

Тип 0 — глыбовый, полиэдрический: многогранники неправильной формы; тип 1 — плитчатый, пластовый: пластовая отдельность, образованная одной горизонтальной четко выраженной системой трещин; тип 2 — призматический: призматическая или кубическая отдельность, образованная двумя ортогональными равнозначными системами трещин; тип 3* — кубический и 3 — ромбический; 3 — образованные тремя равнозначными системами трещин (две из которых ортогональны при 3*); тип 4 — столбчатый: вытянутые многогранники правильной формы, образованные тремя или более равнозначными системами трещин; цифры в кружках на рисунке — системы трещиноватости

Степень нарушенности однородного и квазиоднородного массивов оценивают по значению коэффициента структурного ослабления λ , величина которого по Г. Л. Фисенко зависит от линейных размеров элементарных блоков и высоты борта Н

$$\lambda = \frac{1}{1 + a \cdot \ln \frac{H}{L}}$$

где а — коэффициент, определяемый по таблице

Для скальных и полускальных пород со средней интенсивностью трещиноватости $\lambda=0,02—0,05$.

Коэффициент структурного ослабления используют для определения удельного сцепления в массиве по сцеплению в образце породы, полученному в результате лабораторных или натуральных испытаний.

Для массивов, сложенных трещиноватыми песчано-глинистыми породами со сцеплением в образце менее 0,4 МПа рекомендуется принимать коэффициент структурного ослабления $\lambda=0,3—0,8$.

Степень нарушенности неоднородных массивов горных пород учитывают разделяя его на нарушенные и ненарушенные зоны (блоки), характеризующиеся соответствующими механическими свойствами (прочностью, сцеплением, углом внутреннего трения, плотностью). Характеристики сопротивления сдвигу либо усредняют и получают общие значения для всей потенциальной призмы обрушения; либо принимают для каждого блока отдельно и учитывают в расчетных схемах, основанных на поблочном суммировании удерживающих и сдвигающих сил.

Порода	Сцепление с, МПа	Коэффициент «а»
Песчано-глинистые рыхлые отложения, сильно выветрелые, полностью каолинизированные породы	0,4—0,9	0,5
Уплотненные рыхлые отложения, сильнокаолинизированные изверженные породы	0,5—0,8	2
Уплотненные рыхлые отложения с развитой кососекущей трещиноватостью, каолинизированные крепкие породы	0,5—0,8	3
Крепкие слоистые, с нормальными трещинами	10—20	3—4
Крепкие однородные, с нормальными трещинами	20—30	6—7
Крепкие однородные, с кососекущей слоистостью	>30	10

Основные механические характеристики массивов горных пород

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОСЛАБЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА МАССИВА.

Представления о массивах горных пород как однородных, изотропных, сплошных упругих средах часто используемые в аналитических методах расчета напряженного состояния массива, искажают реальный механизм деформирования пород и перехода их в предельное состояние. Результаты решения геомеханических задач, базирующиеся на подобных представлениях о массиве горных пород не отражают действительного напряженно-деформированного состояния ни качественно, ни количественно и поэтому не могут служить надежной основой для разработки противодеформационных мер. Реальные массивы горных пород ослаблены слоистостью, трещиноватостью, тектоническими нарушениями, которые являются поверхностями разрыва сплошности и непрерывности деформаций.

По контактам слоев и блоков пород различного литологического состава, в зонах тектонических нарушений и разломов прочность пород в 2—100 раз меньше, чем в образце, причем, чем выше прочность образца, тем эта разница больше. По гладким контактам между слоями сопротивление сдвигу минимально. Угол трения по «зеркальным» контактам составляет всего 6-9°, в то время как в образцах этих же пород угол внутреннего трения равен 20-25°. По контактам и нарушениям заполненным глиной его значение может снизиться до нуля. В зависимости от формы карьера в плане и ориентировки в пространстве поверхностей ослабления массива, борта карьера будут в большей или меньшей степени испытывать влияние этих поверхностей.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

В зависимости от прочности горных пород и степени их нарушенности на конкретных участках бортов карьера законтурный массив должен характеризоваться:

- сцеплением и углом внутреннего трения в однородных породах;
- сцеплением и углом внутреннего трения в неоднородных (нарушенных) породах;
- максимальным (предельным) сопротивлением сдвигу τ_{\max} при наличии глинистых пород;
- интегральным показателем сопротивления сдвигу в бортах, сложенных породами с различными характеристиками.

Прочность горных пород оценивается усредненными показателям сопротивления их сжатию и растяжению. При сжатии породы трещины смыкаются и лишь в момент разрушения проявляется влияние естественной трещиноватости пород. При растяжении сопротивление отрыву уже в начале приложения нагрузки будет тем меньше, чем больше интенсивность трещиноватости породы. В массиве основную роль играют протяженные трещины, которых нет в образце. По этим причинам оценивать сопротивление массива горных пород отрыву довольно сложно. Но в связи с тем, что оно невелико, его чаще не принимают во внимание, особенно по отношению к откосам с длительным сроком стояния.

Основное различие между характеристиками сопротивления сдвигу образца породы и массива состоит в величине сцепления. Так по данным лабораторных испытаний коэффициент внутреннего трения $\text{tg}\varphi$ твердых пород изменяется от 0,16 до 0,75 (что соответствует углам $9\text{--}37^\circ$), в то время как величина сцепления изменяется от 0,02 до 70 МПа. С другой стороны, при больших значениях напряжений внутреннее трение создает значительно большие силы сопротивления сдвигу, чем сцепление. Для определения величины коэффициента внутреннего трения $\text{tg}\varphi$ даже для однородной породы необходимо провести не менее 4-6 испытаний на сдвиг. Более точное представление о величине угла внутреннего трения в массиве можно получить, сопоставляя значения угла естественного откоса одноярусного отвала, отсыпанного из данной разновидности пород, угла внутреннего трения в образце и угла трения по поверхности ослабления, при этом угол естественного откоса отвала из скальных пород может колебаться в пределах $33\text{--}43^\circ$ в зависимости от габаритов и форм кусков породы, а также высоты отвала.



Средние значения углов внутреннего трения горных пород (градусы)

Генетический тип; порода	В куске, φ	По контактам φ'			В отвале φ_0
		ШН	ШР	ГП	
Крепкие изверженные и метаморфические; кварцевые порфиры, кварциты, сиениты, базальты, роговики, филлиты и др.	35—37	30—32	28—30	26—28	34—36
Средней крепости метаморфические и осадочные, неводные; сланцы кварцево-хлоритовые, серпентиновые, глинистые; серпентиниты, известняки, песчаники, алевролиты, аргиллиты	30—35	—	24—26	16—22	33—35
Осадочные связные, водонасыщенные; алевролиты, аргиллиты, плотные глины и суглинки и др.	14—20	—	10—14	6—8	Зависит от W
Осадочные текучие; глины пылеватые, жирные; суглинки пылеватые; илы и др.	2—6	—	—	—	—

Примечания. ШН — шероховатые неровные, ШР — шероховатые ровные, ГП — гладкие притертые, W — влажность породы.

Для определения сцепления в однородных (квазиоднородных) массивах горных пород в бортах карьеров используют эмпирическую формулу Г. Л. Фисенко

$$c_m = \lambda \cdot c_{об}$$

Для песчано-глинистых трещиноватых пород со сцеплением в образце менее 0,4 МПа, сцепление в массиве рекомендуют определять с помощью натуральных испытаний больших призм непосредственно в откосе. Коэффициент структурного ослабления для этих пород $\lambda = 0,3-0,8$. Однако, характеристика массива, представленного глинистыми породами (или включающего глинистые пропластки), имеющими высокую естественную влажность значительно отличается от характеристики образцов в связи с влиянием поровой воды.

Сцепление и угол трения по поверхностям ослабления в массиве и образце также не идентичны, но более близки по значениям в сравнении с однородным массивом. Но эти показатели зависят еще и от состояния контактирующих поверхностей. Сцепление c' по поверхностям ослабления предпочтительнее определять натурными испытаниями. Значение угла трения φ' принимают по результатам лабораторных определений. В данном случае масштабный эффект срабатывает в пользу массива, так как идеально прямолинейные, протяженные трещины и контакты между слоями скорее исключение, чем правило.

Термин «угол трения», применяемый к поверхностям ослабления отражает действительный коэффициент трения между двумя соприкасающимися поверхностями. Его значение можно определить непосредственно, опытным путем из равенства:

$$f = \operatorname{tg} \varphi = R/N$$

где R - сила трения, необходимая для сохранения условия предельного равновесия;

N - нормальное давление на трущихся поверхностях.

Прочность массива горных пород — интегральный показатель, который можно оценить совокупностью следующих параметров:

- прочностью образцов породы $\sigma_{сж}$;
- размерами элементарных блоков l , обусловленных интенсивностью трещиноватости пород и мощностью слоев (в слоистых породах);
- степенью шероховатости трещин $K_{ш}$, их раскрытия m и наличием заполнителя;
- характеристиками c' , φ' и влажностью W заполнителя трещин и контактов между слоями пород;
- гидростатического давления $u_{г}$.

В общем виде прочность массива можно выразить как функцию приведенных переменных показателей

$$Q = f(\sigma_{сж}, l, K_{ш}, m, c, \varphi, W, u_{г})$$

Важным параметром, дающим представление о степени нарушенности массива является показатель выхода керна RQD. Его определяют из отношения (в %)

$$K_{вк} = \frac{L_{к}}{L_{скв}} \cdot 100$$

где $L_{к}$, $L_{скв}$ - соответственно суммарная длина извлеченного керна длиной более 10 см и глубина скважины.

Скальные грунты классифицируются по степени трещиноватости RQD:

- ▶ Очень слаботрещиноватые $>90\%$
- ▶ Слабо-трещиноватые 75-90%
- ▶ Средне-трещиноватые 50-75%
- ▶ Сильно-трещиноватые 25-50%
- ▶ Очень сильно-трещиноватые $<25\%$

Также скальные грунты разделяют на разновидности по показателю качества грунта RQD "Качество скального грунта в массиве":

- ▶ Очень хорошее $RQD > 90$
- ▶ Хорошее $90 \geq RQD \geq 75$
- ▶ Среднее $75 > RQD \geq 50$
- ▶ Плохое $50 > RQD \geq 25$
- ▶ Очень плохое $RQD < 25$



Лабораторная работа №3

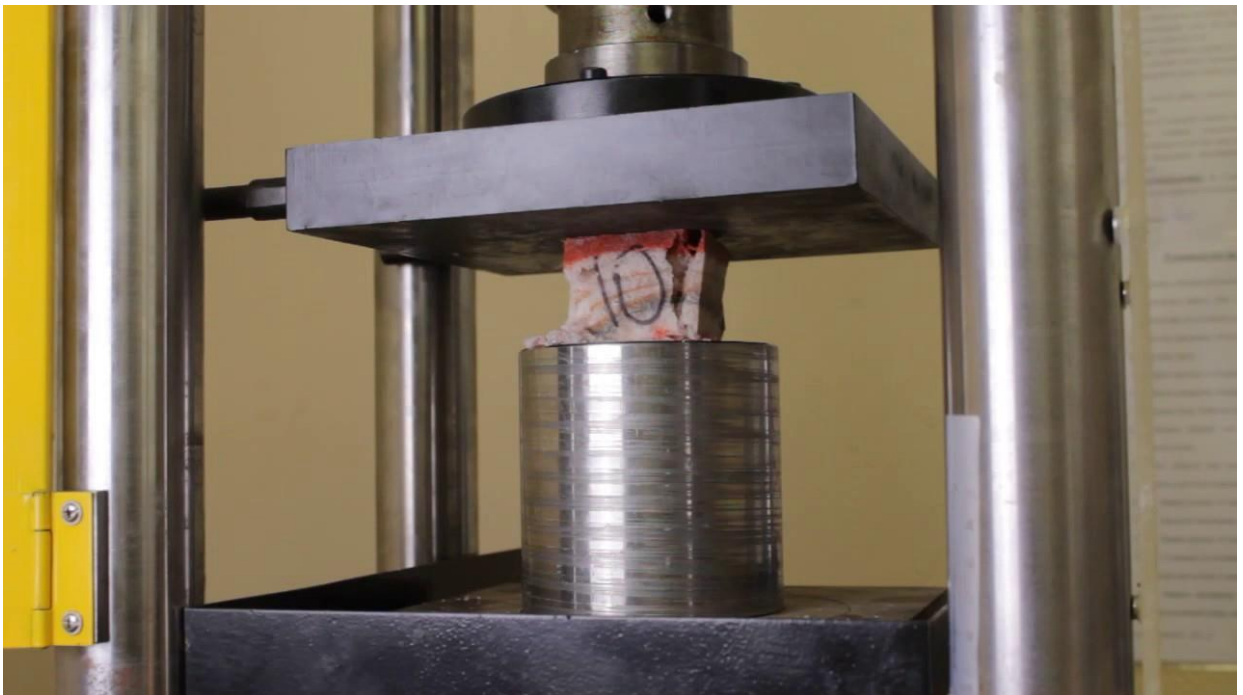
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

Цель работы: познакомиться с методиками определения предела прочности на одноосное сжатие.

Работа выполняется в соответствии с ГОСТ 21153.2-84 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии»

1. Метод одноосного сжатия образцов правильной формы плоскими плитами.

Методика распространяется на твердые (скальные и полускальные) горные породы с пределом прочности при одноосном сжатии не менее 5 МПа. Сущность метода заключается в измерении максимального значения разрушающего давления, приложенного к плоским торцам правильного цилиндрического образца через плоские стальные плиты.



1.1. Оборудование, инструменты и материалы.

- испытательная установка ИП-1-1000ПК

– штангенциркуль ШЦЭ-150

1.2. Подготовка к испытанию.

Для испытания изготавливают цилиндрические или призматические (с квадратным поперечным сечением) образцы. Образцы изготавливают выбуриванием или выпиливанием на камнерезной машине из штуфов и кернов, их торцевые поверхности шлифуют на шлифовальном станке. Размеры образцов должны соответствовать указанным в таблице.

Параметр образца	Размеры, мм, при испытаниях		
	массовых		сравнительных
	предпочтительные	допускаемые	
Диаметр (сторона квадрата)	42 ± 2	От 30 до 80 включ.	42 ± 2
Отношение высоты образца к его диаметру	От 1,0 до 2,0	От 0,7 до 2,0	2 ± 0,05

Измерения производят штангенциркулем с погрешностью ±0,1 мм. Диаметр измеряют в трех местах по высоте (в середине и у торцов) в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Допускается разность диаметров по всем измерениям не более 0,5 мм. За расчетный диаметр принимают среднее арифметическое результатов всех измерений. Количество образцов при массовых испытаниях должно обеспечивать относительную погрешность результатов их испытаний не более 20 % при надежности не ниже 0,8 и быть не менее 6.

1.3. Проведение испытания.

Образец размещают между стальными плитами, совмещая ось образца с центром нижней опорной плиты испытательной машины, нагружают равномерно до разрушения со скоростью 1-5 МПа/с.

Записывают максимальную величину разрушающей образец силы P в килоньютонах, зафиксированную силоизмерителем испытательной машины, с указанием отношения $m = h/d$ для образца.

1.4. Обработка результатов

Значение предела прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ в МПа для каждого i -го образца выборки вычисляют по формуле

$$\sigma_{сжi} = K_e \cdot \frac{P}{S} \cdot 10,$$

где P - разрушающая образец сила, кН;

S - площадь поперечного сечения образца, см²;

K_e - безразмерный коэффициент высоты образца, равный 1,00 при отношении высоты к диаметру $m = 2 \pm 0,05$. Для других значений отношения m коэффициент K_e устанавливают по таблице.

m	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
K_e	0,68	0,72	0,76	0,80	0,86	0,90	0,94	0,97	1,00

Результаты испытания заносятся в таблицу.

№	Высота образца, см	Диаметр образца, см	Коэффициент K_e	Площадь поперечного сечения образца, см ²	Разрушающая образец сила, кН;	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа
1						
2						
3						
4						
5						
6						

За окончательный результат принимается среднее арифметическое по 6 испытаниям.

2. Метод разрушения образцов-плиток плоскими соосными пуансонами

Методика распространяется на твердые (скальные и полускальные) горные породы с пределом прочности при одноосном сжатии от 10 до 150 МПа. Сущность метода заключается в измерении максимальной разрушающей силы, приложенной к торцам образца через стальные плоские встречно и соосно направленные пуансоны.

2.1. Оборудование, инструменты и материалы.

- испытательная установка АСИС
- штангенциркуль ШЦЭ-150

2.2. Подготовка к испытанию.

Для испытания изготавливают образцы-плитки в виде дисков. Допускается изготавливать образцы-плитки неправильного очертания в плане с необработанными боковыми поверхностями при условии, что контуры их торцов и боковых поверхностей позволяют вписать диск необходимого размера.

Образцы должны иметь следующие размеры:

- диаметр от 30 до 100 мм;
- высота – от 10 до 12 мм (для пород с пределом прочности при одноосном сжатии не более 120 МПа) либо от 7,5 до 8,5 мм (для пород с пределом прочности при одноосном сжатии свыше 100 МПа).

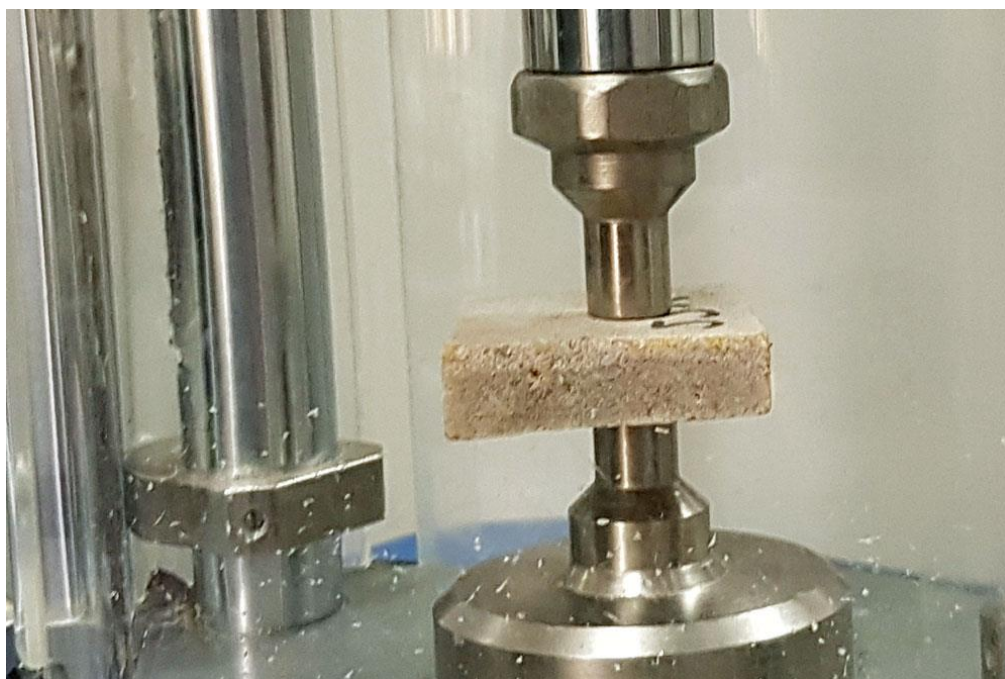
Измерения производят штангенциркулем. Диаметр измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Допускаемая погрешность измерения ± 1 мм. За расчетный диаметр принимают меньший. Высоту измеряют в среднем сечении. Допускаемая погрешность измерения $\pm 0,1$ мм.

Количество образцов должно обеспечивать относительную погрешность результатов испытаний не более 30 % при надежности не ниже 0,8 и быть не менее 6.

2.3. Проведение испытания.

Образец размещают между пуансонами нагрузочного устройства, установленного в центре опорной плиты испытательной машины, совмещая центр диска с осью нагружения. Образец нагружают через пуансоны равномерно до разрушения со скоростью 0,1 - 0,5 кН/с.

Записывают максимальную величину разрушающей образец силы P в килоньютонах, зафиксированную силоизмерителем испытательной машины.



2.4. Обработка результатов

Значение предела прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ в МПа для каждого образца вычисляют по формуле

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{S_y} \cdot 10,$$

где P - разрушающая образец сила, кН;

S_y - условная площадь поперечного сечения образца, см², выбираемая по таблице.

Диаметр образца: (диска), мм	30	40	50	60	70	80	90	100
------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	-----

Условная площадь, см ² :								
- при пуансоне диаметром 11,27 мм	1,52	1,79	2,03	2,26	2,50	2,72	2,94	3,16
- при пуансоне диаметром 7,89 мм	0,90	1,06	1,23	1,39	1,56	1,72	1,89	2,05

Результаты испытания заносятся в таблицу.

№	Высота образца, см	Диаметр образца, см	Условная площадь поперечного сечения образца, см ²	Разрушающая образец сила, кН;	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа
1					
2					
3					
4					
5					
6					

За окончательный результат принимается среднее арифметическое по 6 испытаниям.