

О ДАВЛЕНИИ НА ОСНОВАНИЕ, СЛОЖЕННОЕ ПОНТИЧЕСКИМИ ИЗВЕСТНЯКАМИ

Матус Ю.В.

*Одесская государственная академия строительства и
архитектуры
г. Одесса, Украина*

Введение. На территории одесского региона геолого-литологическое строение площадок строительства представлено, как правило, верхним напластованием (иногда отсутствующим) лессовых супесей и суглинков общей мощностью от 6 до 23 м, подстилаемым краснобурими глинами и понтическими известняками, неомородными по простиранию и мощности. Верхняя часть понтических известняков сложена рыхлыми мергелистыми разностями, содержащими отдельные слои желто-буро-охристого перекристаллизованного известняка, подстилаемые мелкоплитчатыми, перекристаллизованными, разрушенными известняками с включением красно-бурых глин, а средняя – белыми и светло-желтыми, так называемыми «пильными», анизотропными (по механическим свойствам) известняками-ракушечниками со слабой цементацией, с резкой структурной неоднородностью, обусловленной слоистостью, значительной микро и макротрещиноватостью и пористостью, наличием включений, каверн и пр. В нижней части разреза залегают плотные, желто-серые перекристаллизованные известняки.

По принятой классификации [1] перекристаллизованные известняки верхней и нижней частях разреза относятся к полускальным грунтам низкой и пониженной прочности (предел прочности R_c на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии находится в интервале от 1 до 5 МПа), а «пильные» известняки-ракушечники – к полускальным грунтам весьма низкой прочности (предел прочности R_c на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии менее 1 МПа).

В последнее время в одесском регионе «пильные» понтические известняки все чаще начинают использоваться непосредственно в качестве естественных оснований многоэтажных зданий с

несколькими подземными этажами. Кроме того, в старых частях городов и поселков региона имеются, ранее построенные, на выходящих на поверхность известняках, здания, которые нуждаются в реконструкции с одновременным увеличением нагрузки на фундаменты.

Проблема назначения безопасного давления на естественное основание, сложенное полускальными грунтами – «пильными» понтическими известняками – достаточно актуальна и имеет теоретическое, и практическое значение.

Вопросы исследования сопротивления нагрузкам «пильных» известняков-ракушечников находятся только на первом этапе, при котором еще отсутствуют достаточные данные для применения какого-либо расчетного метода определения сопротивления известняка-ракушечника, как грунтового основания фундаментов зданий и сооружений. Первому этапу присуще определение размеров подошвы фундаментов и оценка надежности грунтового основания исключительно на основании предшествующей практики (а в рассматриваемом случае ее явно недостаточно, так как исторически она исчерпывается строительством 2-х и 3-х этажных зданий с давлением, передаваемым на известняк не более 0,2 МПа), а так же результатах лабораторных, либо натуральных испытаний грунтового основания.

Развитие первого этапа заключается в постепенном накоплении опыта строительства, результатов лабораторных и полевых исследований с последующим обобщением их, а также в стремлении подвести теоретически обоснованную базу под полученные выводы с целью последующего, более уверенного и правильного их использования.

Обзор последних источников исследований и публикаций.

Полевые и лабораторные исследования прочности «пильных» известняков-ракушечников, как материала грунтового основания зданий и сооружений, начаты только в последние годы [2, 3, 4], и при том в крайне ограниченном количестве. В связи со сложностью проведения полевых испытаний грунтов штампами, в общем количестве исследований преобладают лабораторные.

Отметим и сложности, имеющие место при отборе образцов для лабораторных исследований. В одесском регионе образцы для определения прочности понтических известняков отбираются методом выпиливания в подземных выработках (катакомбах), что, естественно, возможно далеко не всегда, и гораздо реже из керна, полученного бурением при проходке скважин, где отбор

сплошного (монолитного) керна известняка, как правило, существенно затруднен, а в большинстве случаев и просто невозможен. Для косвенной оценки показателей свойств «пильного» известняка и его классификации инженеры-геологи чаще всего используют характеристики процесса бурения, состав и выход керна. Таким образом, как правило, в результате проведенных инженерно-геологических изысканий в отчете имеются лишь данные об отношении известняка к той или иной группе по пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии R_c .

Вопросу экстраполяции прочности лабораторных образцов на массив скальных грунтов посвящены только две работы [5, 6].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Отсутствие, после проведения инженерных изысканий, данных о пределе прочности «пильного» известняка-ракушечника на конкретной площадке и наличие сведений только лишь о верхнем пределе его прочности по классификации, заставляет инженера принимать, на основании умозрительных рассуждений, неуверенные и часто необоснованные решения по назначению давления на основание, что существенно снижает эффективность проектирования.

Постановка задачи. Задача настоящей работы – установление безопасных, обоснованных давлений на естественные основания, сложенные полускальными грунтами – понтическими «пильными» известняками, на основе анализа имеющихся экспериментальных данных по определению прочности на одноосное сжатие лабораторных образцов «пильных» известняков-ракушечников одесского региона с последующей экстраполяцией этих данных на весь массив полускальных грунтов.

Основной материал и результаты. По действующему стандарту [7] предел прочности (временное сопротивление) при одноосном сжатии определяют на образцах грунта в форме круглого цилиндра диаметром от 40 до 100 мм и отношением высоты к диаметру от 1:1 до 2:1 или в форме прямоугольного параллелепипеда с торцевыми гранями размерами от 40×40 до 100×100 мм и таким же отношением высоты к размерам торцевых граней. Причем испытание образцов трещиноватых грунтов (а, именно, к таким грунтам относятся понтические известняки) диаметром (или размером торцевой грани) менее 60 мм не допускается.

Прочность основания, сложенного известняком-ракушечником условно принимается равной прочности его образца с любыми стандартными размерами. В то же время известно, что прочность образцов зависит от их объема и с увеличением размеров образца прочность уменьшается, что обусловлено повышением вероятности нахождения в его теле дефектов, имеющих большие размеры, чем дефекты, расположенные в образце меньших размеров.

При размерах образцов-цилиндров, рекомендуемых стандартом, объем их меняется от 50 до 1571 см³, то-есть в 31,4 раза. В стандарте на полускальные грунты нет указаний на то, какой из рекомендуемых образцов является базовым, а, следовательно, отсутствуют и коэффициенты для определения прочности грунта в зависимости от размеров образцов для приведения результатов их испытаний к прочности базового образца, как это имеет место при испытании образцов природных камней для каменных конструкций. Где, например, временный предел прочности образца-цилиндра природного камня (а высота всех образцов принимается равной их диаметру) при диаметре 50 мм больше на 20% временного предела прочности образца диаметром 100 мм (при изменении объема образца от 98 до 785 см³, то-есть в 8 раз).

Следовательно, действующим в настоящее время стандартом на полускальные грунты полностью игнорируется положение о зависимости прочности грунта от объема образца, что, на наш взгляд, не возможно никак обосновать вообще ни для какого материала и, тем более, для материала с резкой структурной неоднородностью.

Игнорирование указанной зависимости формально кардинально облегчает осуществление переноса прочности образца на массив грунтового основания, но в то же время ни коим образом не лишает понятия прочности, присущего ей условного характера.

Такой подход можно оправдать только тем обстоятельством, что условия работы образца грунта при его одноосном сжатии в лаборатории и работа объемного элемента массива грунтового основания происходит в существенно разных условиях, в следствии чего объемный элемент, находящийся внутри грунтового массива, обладает существенно большим сопротивлением нагрузке по сравнению с образцами грунта стандартных размеров. Таким образом, применение в расчетах временного предела прочности при одноосном сжатии, определенного по результатам испытаний стандартных лабораторных образцов, не выявляет истинных запасов прочности грунтового основания.

Объем лабораторных исследований образцов известняка-ракушечника, выполненный на данный момент в процессе инженерно-геологических изысканий, существенно меньше объема аналогичных исследований, выполненных в промышленности строительных материалов. В связи с чем, имеет смысл совместно рассмотреть и проанализировать имеющиеся результаты всех исследований прочности «пильного» известняка-ракушечника понтического яруса одесского региона.

В промышленности строительных материалов при определении марки природных камней принимают предел прочности на одноосное сжатие кубов с размером ребер 200 мм, целого камня (390×190×188, 490×240×188, 390×190×288) или половины камня, распиленного поперек. Таким образом, размеры образцов природных камней превышают размеры образцов, рекомендуемых стандартом на полускальные грунты [7], а следовательно, значение временного предела прочности будет меньше примерно на 30%, чем прочность, полученная на образцах, соответствующих стандарту. Установку образцов на опорную плиту прессы производят так, чтобы вектор сжимающей силы был перпендикулярен направлению слоистости испытываемой породы (при этом определяется минимальное из возможных сопротивление известняка, как анизотропного материала). В связи с чем использование результатов испытаний образцов «пильного» известняка-ракушечника, выполненных на его месторождениях, дает значение временного сопротивления с некоторым запасом (т.е. заниженного).

Ниже в таблице 1 даны характеристики некоторых свойств «пильных» понтических известняков по результатам исследований, выполненных различными предприятиями и организациями.

Из анализа данных таблицы следует, что зависимости между средней плотностью «пильного» известняка-ракушечника в воздушно-сухом состоянии (далее в сухом) ρ и его пределом прочности (временным сопротивлением) в водонасыщенном состоянии R_c , а также между плотностью ρ и коэффициентом размягчаемости k_{saf} не имеют какого-либо, ярко выраженного, закономерного характера и достаточно хаотичны, что и является следствием резкой структурной неоднородности и наличия существенно различной структурной прочности у плотных и мягких разностей понтических известняков. Средне арифметические значения минимального предела прочности (временного сопротивления) на одноосное сжатие (ординаты

нижней границы, параллельной оси абсцисс (ось ρ), охватывающие области рассеивания точек на графиках $R_c = f(\rho)$ и $R = f(\rho)$ образцов «пильного» известняка-ракушечника как в водонасыщенном, так и воздушно-сухом состояниях, соответственно составляют $R_c = 0,45$ МПа и $R = 0,65$ МПа (с погрешностью менее $\pm 5\%$) (см. рис. 1 и 2). Данные, использованные при вычислении средне арифметических значений R_c и R , в таблице 1 выделены жирным шрифтом. Именно R_c и R , и необходимо принимать в качестве исходных и безопасных в расчетах, в случаях, если в процессе инженерно-геологических изысканий указанные пределы прочности непосредственно не определялись.

Для использования в дальнейшем положений теории упругости необходимо знание значения коэффициента Пуассона. Нам неизвестны работы по определению коэффициента бокового расширения (коэффициента Пуассона) для «пильных» понтических известняков-ракушечников. Для установления значения этого коэффициента воспользуемся опытными данными, приведенными в [9, с. 267 и с. 273 – 276] для отдельных разновидностей известняков (ниже эти данные сведены в таблицу 2).

Статистическая обработка опытных данных, приведенных в таблице 2 при односторонней доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ дает расчетное значение коэффициента бокового расширения (коэффициента Пуассона) для известняков в целом, равным $\mu = 0,29$.

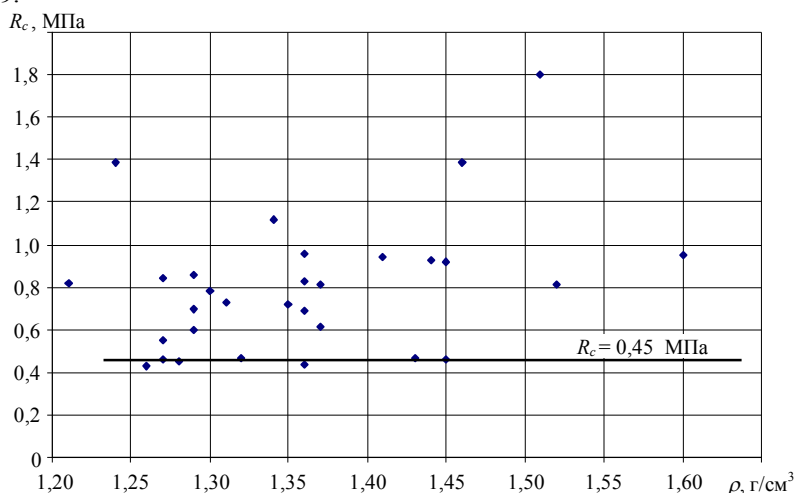


Рис. 1. График зависимости R_c от ρ .

Исходя из изложенных ниже положений, рассмотрим вопрос о переносе (экстраполяции) прочности образца полускального грунта на прочность массива грунтового основания, связав его с выбором опти-мального способа расчета, отражающего, на наш взгляд, основные связи между прочностью лабораторного образца и прочностью массива. К такому подходу на данном этапе вынуждает техническая сложность прямого изучения свойств грунтового массива полускальных грунтов на любой конкретно взятой площадке.

Отдельные обломки трещиноватого, «пильного» известняка-ракушечника раздавливаются при определенном значении нагрузки. В этом случае мы будем иметь схему разрушения, в какой-то мере напоминающую схему разрушения образца породы, подвергающегося раздавливанию, и прочность скального грунта можно условно сопоставлять с прочностью испытываемого образца. Однако надо учитывать, что стандартное раздавливание происходит в условиях отсутствия нагрузок по бокам образца, т.е. при отсутствии боковых ограничений сжатие происходит со свободным поперечным расширением, а каждый отдельно взятый обломок основания в действительности окружен соседними блоками или обломками, и свобода его бокового расширения существенно ограничена или даже невозможна. Очевидно, что для раздавливания обломка известняка, входящего в систему обломков, необходимо большее усилие, чем при раздавливании соответствующего стандартного образца. Соседние обломки или блоки испытывают давление со стороны обломка, подвергающегося сжатию, который стремится получить свойственную ему поперечную деформацию. Это давление распирает окружающие обломки или блоки в направлениях, перпендикулярных линии действия сжимающей силы, создавая «боковой распор».

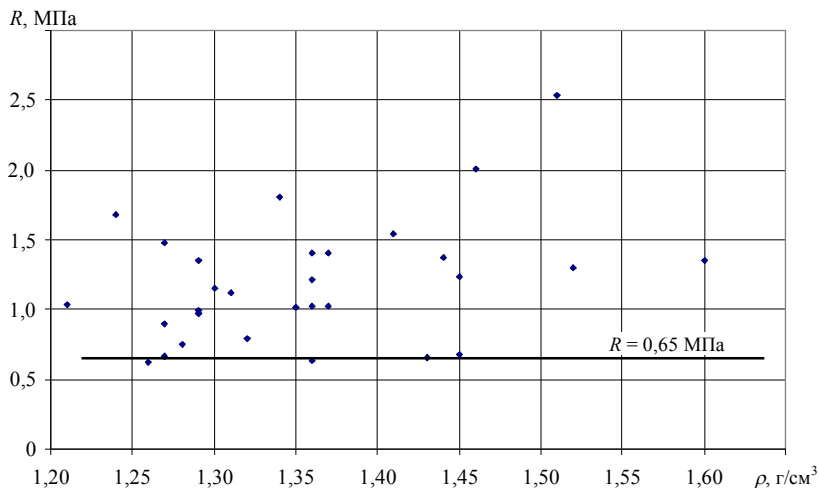


Рис. 2. График зависимости R от ρ .

Существенно большие значения модуля деформации «пильных» известняков-ракушечников ($E = 100...200$ МПа) обуславливают тот факт, что зона деформации под фундаментом, при передаваемых на грунтовое основание давлениях до 1 МПа, не выйдет в плане за границы «пятна» (границ в плане) фундамента. Учитывая этот факт, а так же и то, что степень «бокового распора» в системе обломков основания установить точно не возможно, можно с большой долей вероятности предположить, что обломок системы, подвергающийся раздавливанию, а так же и весь материал системы грунтового основания будет работать в условиях невозможности бокового расширения.

Таблица 1

Характеристики свойств понтических известняков Одесского региона

№	ρ , г/см ³	R , МПа	k_{saf}	R_c , МПа	№*	ρ , г/см ³	R , МПа	k_{saf}	R_c , МПа
1*	1,21	1,03	0,80	0,82	16	1,36	1,02	0,68	0,69
2*	1,24	1,68	0,83	1,39	17	1,36	1,22	0,68	0,83
3*	1,26	0,62	0,69	0,43	18	1,36	0,63	0,70	0,44
4*	1,27	1,48	0,57	0,84	19	1,36	1,41	0,68	0,96

5	1,27	0,90	0,61	0,55	20	1,37	1,02	0,60	0,61
6	1,27	0,67	0,69	0,46	21	1,37	1,40	0,58	0,81
7	1,28	0,75	0,60	0,45	22	1,41	1,54	0,61	0,94
8	1,29	1,35	0,64	0,86	23	1,43	0,65	0,72	0,47
9	1,29	0,97	0,72	0,70	24	1,44	1,37	0,68	0,93
10	1,29	0,99	0,61	0,60	25	1,45	1,24	0,74	0,92
11	1,30	1,15	0,68	0,78	26	1,45	0,68	0,67	0,46
12	1,31	1,12	0,65	0,73	27	1,46	2,01	0,69	1,39
13	1,32	0,79	0,60	0,47	28	1,51	2,53	0,71	1,80
14	1,34	1,81	0,62	1,12	29	1,52	1,30	0,62	0,81
15	1,35	1,01	0,71	0,72	30	1,60	1,35	0,70	0,95

Примечания:

1) № – номер месторождения или участка территории (поля подземных выработок).

2) Значения с «*» – по данным Одесского национального университета им. И.И. Мечникова, остальные по данным треста Одесстройматериалы [8].

3) 1...4 – участки территории г. Одессы (поля подземных выработок): 1 – Кирпичный переулок; 2 – ул. Фрунзе; 3 – санаторий «Приморье»; 4 – санаторий «Молдова»; 5...30 – наименования месторождений: 5 – «Ленинское»; 6 – «Нерубайское»; 7 – «Карповское»; 8 – «Ивановское – II»; 9 – «Холоднобалковское»; 10 – «Орловское»; 11 – «Кривобалковское»; 12 – «Ивановское – I»; 13 – «Дальницкое»; 14 – «Лизинское»; 15 – «Ильинско-Ковалевское»; 16 – «Яблуневское»; 17 – «Каменское»; 18 – «Вороневское»; 19 – «Щербаковское»; 20 – «Булдынское»; 21 – «Алтестовское»; 22 – «Фонтанское»; 23 – «Нечаянское»; 24 – «Гуляйбалковское»; 25 – «Васильевское»; 26 – «Безымянное»; 27 – «Александровское»; 28 – «Барабойское»; 29 – «Сычавское»; 30 – «Визирское».

Таблица 2

Коэффициент бокового расширения (коэффициент Пуассона)
 μ известняков [9]

№	μ	№	μ	№	μ
1	0,13	8	0,29	15	0,32
2	0,21	9	0,29	16	0,33
3	0,22	10	0,29	17	0,35
4	0,25	11	0,30	18	0,35
5	0,28	12	0,31	19	0,36
6	0,28	13	0,31	20	0,39
7	0,28	14	0,31	21	0,40

Примечание

№1 – Известняк. Сокское месторождение. Куйбышевская обл.; №2 – Известняк. Эстония; №3 – Известняк мелкодетритусовый. Ласнамайское месторождение. Эстония; №4 – Известняк органогенно-обломочный. Московская синеклиза; №5 – Известняк. Самарская лука. Поволжье; №6 – Известняк мелкозернистый. Самарская лука. Поволжье; №7 – Известняк органогенно-детритусовый. Самарская лука. Поволжье; №8 – Известняк битуминозный. Река Аксу. Кузнецкий Ала-Тау; №9 – Известняк мелкокристаллический. Река Аксу. Кузнецкий Ала-Тау; №10 – Известняк. Яблоновское месторождение. Куйбышевская обл.; №11 – Известняк мраморизованный, красный. Хоривское месторождение. Закарпатье; №12 – Известняк шламово-афонитовый. Малеевское месторождение. Подмосковье; №13 – Известняк. Тарусское месторождение. Тульская обл.; №14 – Известняк мраморизованный. Средняя Азия; №15 – Известняк хемогенный. Московская синеклиза; №16 – Известняк песчаный. Карьер хандисейли. Туркмения; №17 – Известняк мраморизованный. Газганское месторождение. Узбекистан; №18 – Известняк оолитовый. Красноводск. Туркмения; №19 – Известняк. подмосковье; №20 – Известняк облицовочный. Коробчеевское месторождение. Подмосковье; №21 – Известняк. Тарусское месторождение. Тульская обл.

При передаче сжимающая нагрузка от фундамента на сравнительно небольшую по размерам площадь участка поверхности грунтового основания (столбчатые или ленточные фундаменты), сложенного «пиль-ным» известняком-ракушечником, нагрузка вызывает не общую, а местную деформацию сжатия основания, при которой полускальный грунт будет иметь повышенную прочность благодаря как удерживающему влиянию обоймы, так и распределению на нее некоторой части нагрузки от фундамента, то есть частичной разгрузки его контактной поверхности с грунтовым основанием. Коэффициент увеличения допускаемого давления на основание равен корню кубическому из соотношения площадей горизонтального сечения обоймы, приходящейся на фундамент, к площади подошвы фундамента и не должен приниматься более 1,5 (на основе практики расчета бетонных конструкций на местное сжатие (смятие) [10]). Площадь горизонтального сечения обоймы фундамента ограничена со всех сторон прямыми, параллельными осям здания или сооружения и проходящими для внутренних фундаментов по серединам расстояний между смежными фундаментами. Для крайних, расположенных по крайним осям здания или сооружения, фундаментов, расстояние от крайней оси до внешней, наружной границы горизонтального сечения обоймы, может принимается равной расстоянию от той же оси до

внутренней, параллельной наружной, границе. При несимметричном расположении местной нагрузки площадь обоймы принимается симметричной относительно центра тяжести подошвы фундамента. У фундаментов большой площади подошвы (плитных фундаментов) указанный коэффициент следует, очевидно, принимать равным 1.

Одна из гипотез прочности материала, а, именно, «гипотеза деформаций» предполагает, что прочность сплошной системы определяется той деформацией, которая возникает в ней в момент разрушения при действии любой системы сил, и что во всех случаях, когда материал получает одну и ту же деформацию, он может считаться равнопрочным.

Известно, что гипотеза деформаций лучше согласуется с данными опыта. Боковые усилия, согласно этой гипотезе, не остаются без влияния на прочность материала. Например, тело, сжимаемое одной силой, действующей по направлению координатной оси z (одноосное сжатие с напряжением $\sigma = P/A$, где A – площадь поперечного сечения), и тело, сжимаемое по трем взаимно перпендикулярным направлениям (главные напряжения σ_z , σ_x и σ_y) могут считаться равнопрочными только при условии равенства деформаций по направлению оси z . В пределах прямой пропорциональности между напряжениями и относительными деформациями это требование выражается следующим условием (согласно закону Гука) [11]

$$\sigma / E = \sigma_z / E - \mu (\sigma_x / E + \sigma_y / E) \quad (1)$$

или

$$\sigma = \sigma_z - \mu (\sigma_x + \sigma_y). \quad (1a)$$

Здесь, E и μ – соответственно модуль упругости (модуль Юнга) и коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона).

Соотношение между относительной поперечной ε_1 и относительной продольной ε деформациями для каждого материала является величиной постоянной и в случае упругих деформаций

$$\varepsilon_1 = -\mu \cdot \varepsilon, \quad (2)$$

а зависимость между напряжениями и относительными продольными деформациями выражается законом Гука

$$\sigma = \varepsilon \cdot E. \quad (3)$$

Для рассматриваемого случая можно записать

$$\sigma_x = \sigma_y = \xi \cdot \sigma_z, \quad (4)$$

где ξ – коэффициент бокового распора, равный

$$\xi = \frac{\mu}{1 - \mu}. \quad (5)$$

Окончательно, для условий невозможности бокового расширения, запишем

$$\sigma = \sigma_z - \mu \xi (\sigma_z + \sigma_z) \quad (6)$$

или

$$\sigma_z = \frac{\sigma}{1 - 2\mu\xi}. \quad (6a)$$

Таким образом,

$$\sigma_z = \frac{1 - \mu}{1 - \mu - 2\mu^2} \cdot \sigma. \quad (7)$$

Приняв σ равным R_c , получим безопасное (минимальное) допускаемое давление на естественное основание, сложенное полускальными грунтами – понтическими «пильными» известняками одесского региона

$$\sigma_z = \frac{1 - \mu}{1 - \mu - 2\mu^2} \cdot R_c. \quad (7a)$$

Подставляя в формулу (7a) значение коэффициента Пуассона и минимального предела прочности R_c либо R для «пильного» известняка-ракушечника в водонасыщенном или в сухом состояниях, получим значение допускаемое давления на естественное основание плитных фундаментов с большой площадью подошвы соответственно равное 0,59 и 0,88 МПа (округленно 0,6 и 0,9 МПа), а для фундаментов малой площади, столбчатых и ленточных, вследствие эффекта местной деформации, возможно увеличение допускаемого давления соответственно до 0,89 и 1,32 МПа (округленно до 0,9 и 1,3 МПа).

Выводы

1. При наличии в отчете по инженерно-геологическим изысканиям результатов по определению предела прочности на одноосное сжатие водонасыщенных образцов «пильных»

известняков-ракушечников, определение допускаемого давления на естественное основание рекомендуется выполнять по формуле (7а) с учетом их состояния по влажности и, в необходимых случаях, с учетом эффекта местного приложения нагрузки.

2. При отсутствии сведений о пределе прочности на одноосное сжатие водонасыщенных образцов «пильных» известняков-ракушечников одесского региона, допускаемые давления на естественное основание в водонасыщенном и воздушно-сухом состояниях рекомендуется принять, равными соответственно 0,6 и 0,9 МПа (без учета эффекта местного приложения нагрузки).

3. Указанный подход к определению допускаемого давления на естественное основание, сложенное «пильными» известняками-ракушечниками, не выявляет истинных запасов их сопротивления нагрузкам, допуская ошибку в безопасную сторону, и ему свойственна осторожность и надежность.

SUMMARY

Methods over of setting of pressures are brought on the limestones of the Odessa region, being based on the experienced data about durability on the monaxonic compression of laboratory standards of soils with subsequent extrapolation of their durability on durability of the ground array.

Литература

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения/ М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова [Текст]. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с. – (Справочник проектировщика).
2. Тугаенко Ю.Ф. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов, свай и свайных фундаментов [Текст] / Ю.Ф. Тугаенко; – Одесса: «Астропринт», 2008. – 216 с.
3. Новский В.А. Исследование прочностных и деформативных свойств известняка-ракушечника в лабораторных условиях [Текст] / В.А. Новский // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2008. – Вип. 29. – С. 289 – 295.
4. Kornienko N.V., Novskiy A.V., Novskiy V.A., Tkalich A.P., Tugaenko Y.F. Mechanical properties of semi-rock and methods of their determination. Proceedings of the 15th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Part 1 2 and 3. – Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington, DS: IOS Press Inc., 2011 – p. 43 – 47.

5. Матус Ю.В., Кушак С.И. Назначение давления на основание, сложенное слабыми скальными грунтами [Текст] / Ю.В. Матус, С.И. Кушак // зб. наук. праць Полтав. нац. техн. ун. ім. Ю. Кондратюка. – Полтава: ПНТУ, 2007. – С. 91 – 94. – (Серія «Галузеве машинобудування, будівництво»).
6. Матус Ю.В. К вопросу назначения давления на основание, сложенное понтическими известняками [Текст] / Ю.В. Матус // Геотехника Беларуси: наука и практика: междунаrod. науч.-техн. конференц. – Минск, БНТУ, 2013. – С. 289 – 296.
7. ГОСТ 17245-79. Грунты. Метод лабораторного определения предела прочности (временного сопротивления) при одноосном сжатии.
8. Якубець О.О. Про пилчасті вапняки Північно-Західного узбережжя Чорного моря [Текст] / О.О. Якубець // Геологія узбережжя і дна Чорного та Азовського морів у межах УРСР: міжвід. респуб. наук. зб. – К.: Видав. Київ. ун-ту, 1972. – Вип. 6. – С. 87 – 93.
9. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород [Текст]. – М.: «Недра», 1975. – 279 с.
10. Мурашов В.И., Сигалов Э.Е., Байков В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс [Текст] / В.И. Мурашов, Э.С. Сигалов, В.Н. Байков – М.: Госстройиздат, 1962. – 659 с.
11. Орнатский И.В. Механика грунтов [Текст] / И.В. Орнатский; – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1950. – 419 с.