

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРГЕЛЬНО-МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БЕЛАРУСИ

SOME RESULTS OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CHALKY MARL DEPOSITS OF BELARUS RESEARCH

Валерий Ефимович Сеськов, канд. техн. наук, доцент, заведующий отделом "Оснований и фундаментов" РУП "Институт БелНИИС", лауреат премии Совета Министров БССР и Республики Беларусь

Лажевич Олег Анатольевич, главный геолог УП "Геосервис"

Лях Вадим Николаевич, заведующий лабораторией РУП "Институт БелНИИС"

В статье приводятся результаты исследований физико-механических характеристик мергельно-меловых отложений Беларуси, в основном мергельно-меловых болотно-озерных отложений четвертичного периода и мергельно-меловых отложений верхнемелового периода. Исследования проводили как в лабораторных, так и полевых условиях: сдвиговые и компрессионные испытания, динамические и статические зондирования, статические испытания вертикальной нагрузкой. Установлена взаимосвязь между физико-механическими характеристиками и параметрами зондирования. Расчетные сопротивления грунтов на боковой поверхности забивных и набивных свай.

The article shows the results of research of physical and mechanical characteristics of chalky marl deposits of Belarus, essentially chalky marl swamp and laky deposits of the quaternary age and boulder chalk deposits of upper chalk age. The research took place in the laboratory and field conditions: shifting and pumping-up tests, dynamic and static probing, static tests by vertical load. The relation between physical and mechanical characteristics and parameters of probing is found out. Calculated resistance of soils on a lateral surface of driven and cast-in-place piles.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в республике отсутствуют нормативные документы (ТКП) по мергельно-меловым отложениям в части физико-механические характеристики оснований для зданий и сооружений. В тоже время, на территории республики они широко представлены: восточная часть Могилевской и Гомельской областей, Брестская область (Молоритский район), Гродненская область (Волковысский район) и др., где сжимаемая зона от зданий и сооружений включает мергельно-меловые отложения, а болотно-озерные мергельно-меловые грунты распространены по всей территории республики, в четвертичных межледниковых отложениях.

Отсутствие нормативной базы, т.е. расчетных характеристик по мергельно-меловым отложениям вызывает применение больших материалоёмких фундаментов (например, закладываются заведомо заниженные характеристики меловых отложений и, соответственно, большое количество свай, что ведет к большим перерасходам материалов).

В тоже время следует отметить, что в ближайшее время на востоке Могилевской и Гомельской областей (Кричевский район, Костюковический район, Добрушский район и др.) планируется начать строительство ряда крупных объектов цементной промышленности и жилых комплексов по обслуживанию промышленных предприятий. Все это потребует проектирования и устройства рациональных фундаментов, основанных на хорошо изученных достоверных значениях характеристик мергельно-меловых отложений, что позволит значительно уменьшить материальные затраты (арматура, цемент, бетон).

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И СОСТАВА МЕРГЕЛЬНО-МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Как уже отмечалось в работе, рассматриваются, мергельно-меловые отложения четвертичного периода (болотно-озерные) и верхнемелового периода (сеноманский, туронский, коньякский, сантонский и компанский ярусы) [1].

Изучение мергельно-меловых отложений, с точки зрения полезных ископаемых, посвятили многие ученые (Т.В.Богомолов, М.М.Цапенко, В.С.Акимец, Г.И.Бушинский, И.М.Горькова, Ю.Г.Копысов и др.) и они достаточно хорошо изучены [1,2,3]. В тоже время, мергельно-меловые отложения с точки зрения оснований под здания и сооружения изучены недостаточно. Этой проблеме посвящены работы Богомолова Г.В., И.Л.Дзилна, Леоничева А.Б. и др. [4,5,6,7], но исследования не доведены для разработки нормативных документов.

В юго-восточной части Беларуси (в основном бассейн р. Сож) мергельно-меловые отложения залегают на небольших глубинах в пределах речных долин, где участками они выходят на дневную поверхность. Глубина залегания их кровли здесь обычно изменяется от нескольких десятков сантиметров до 18-20 м по речным долинам. В пределах надпойменных террас глубина залегания мергельно-меловых отложений постепенно увеличивается и на водоразделах и их склонах глубина уже достигает 15-75 м.

Кровля толщи мергельно-меловых отложений весьма неровная со следами эрозии, карстовых воронок и ледниковых углублений и царапин. Подошва мергельно-меловых отложений погружается по направлению с севера на юг, от нескольких метров на севере (г. Мстиславль) до 150 м в районе г. Гомеля.

Мергельно-меловые отложения верхнемелового времени достаточно однородны по составу и свойствам. Как правило, верхнемеловые отложения здесь трансгрессивные, залегают на юрских и перекрываются антропогенными образованиями.

Текстура мергельно-меловых отложений (пород) в основном представлена тремя видами: ихнитовая текстура, с наличием в породе ходов илоедных животных, такая текстура свойственна преимущественно глинистым разностям; массивная текстура, без заметной текстурной неоднородности; брекчевидная текстура, возникшая вследствие давления ледниковых масс [1].

По составу карбонатная часть мергельно-меловых отложений состоит преимущественно из органогенного кальцита, представленного органическими остатками и продуктами их разложения. Некарбонатная часть представлена глинистыми минералами группы монтмориллонита.

В коллоидно-химическом понятии мергельно-меловые отложения рассматриваются как естественные структурированные системы с наличием синергетических коагуляционных структурных связей (консистенция - от твердой до скрытопластичной, иногда скрытотекучей). В местах контактов отдельные частицы склеены коллоидным веществом или имеют непосредственное соприкосновение. При динамических нагрузках на вид хрупкие разности превращаются в студнеобразное состояние. Гидрофильность мергельно-меловых отложений низкая, значительно большая естественная W присуща, главным образом, рыхлым сложением мергельно-меловых отложений.

Установлено, что в мергельно-меловых породах по степени нарушенности структурных связей можно выделить в основном три разновидности: 1 – коренной мел с сохранившимися структурными связями; 2 - глиноподобный с полностью утраченными структурными связями, так называемый "разжиженный" (пластичный); 3 – смешанного, т.е. наличия хрупких разностей (агрегатов) с ненарушенной структурой и пластичного ("разжиженного") заполнителя.

Мергельно-меловые отложения четвертичного периода распространены по всей территории Беларуси ("оторженцы", болотно-озерные) и толщина их колеблется от 1 м до 30 м, на разных глубинах в межледниковых отложениях.

Особенности отложений мергельно-меловых, отложений болотно-озерных генезиса определяется в основном соотношениями трех осадкообразующих компонентов: органического вещества, карбонатного материала и минеральных частиц (соединений кремния). Различное содержание составляющих отражает специфику формирования биогенных отложений и определяет их видовую принадлежность. В нашем случае мы рассматриваем карбонатные (известковые) сапропели и мергели (погребенные). Карбонатные сапропели – это содержание органики от 10 до 30%, а CaCO_3 , от 10 и выше, мергель – органики менее 10%, а CaCO_3 , от 10 и выше. Чем больше в грунтах органических компонентов, тем выше его гидрофильность, меньше плотность сухого грунта и больше пористость.

Существует классификация Бушинского, Копысова и др. [1,3] мергельно-меловых отложений. Нами предлагается несколько измененная классификация с точки зрения инженерно-геологических характеристик.

В ряду мел – известковистая глина каждая следующая разновидность породы отличается от предыдущей породы меньшей белизной, пористостью, более темным цветом, несколько большей плотностью, твердостью, механической прочностью и весом. Различие в количестве CaCO_3 и пористости обуславливают степень твердости мергельно-меловых отложений. Чистый мел с незначительным содержанием глины и с высокой пористостью слабо сцементирован, рыхлый, тогда как мергель, глинистый мергель и известковистая глина с небольшим количеством кальцита, обладающие пониженной пористостью, сцементированы значительно сильнее и представляют собой более плотные породы. Сцементированные, т.е. с ненарушенной структурой связи между CaCO_3 и глинистым материалом образуют более прочную породу – известняк.

Таким образом, мергельно-меловые отложения (породы) в основном состоят из двух основных компонентов – карбоната кальция и глинистого материала. Зная один из них, другой определяется по разности. Поэтому в основу указанной классификации положено содержание CaCO_3 . Процентное соотношение карбонатной и некарбонатной частей мергельно-меловых пород отражает не только вещественный состав, но также их технологические, физико-механические свойства и условия их образования. В более глубоководных частях водоема (море) откладывались высококарбонатные разновидности мергельно-меловых пород, где террогенного преимущественно глинистого материала незначительно, так как в прибрежных участках количество глинистого материала возрастает. Результаты анализа сведены в таблицу 1.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования физико-механических характеристик мергельно-меловых отложений проводили на строящихся объектах, в лабораторных и полевых условиях различными методами (16 объектов). В лабораторных условиях определяли физические (влажность W , удельный вес, показатель текучести, удельный вес сухого грунта и др.), прочностные и деформационные характеристики (на сдвиговых и компрессионных приборах).

В местах отбора образцов, монолитов (в полевых условиях) выполнялось зондирование грунтов (динамическое, статическое), опытные испытания свай, испытания вертикальной статической нагрузкой (штампы), испытания инвертарными сваями малого сечения.

Полученные комплексные результаты обрабатывались статическими методами на ЭВМ для установления взаимосвязи между полученными показателями зондирования, статическими испытаниями свай и штампов, и физическими характеристиками.

Таблица 1 - Нормативные значения физико-механических характеристик меловых отложений верхнемелового периода

Генетическая группа	Содержание CaCO ₃ , %	Характер структурных связей и показатель пластичности, I _p	Тип и вид грунта	Влажность, W, %	Объемный вес сухого грунта, ρ _d , г/см ³	Коэффициент пористости, e	Модуль деформации, E, МПа (при P ≤ 0,25 МПа)	Угол внутреннего трения, φ, град	Удельное сцепление, C, кПа	Сопротивление сдвигу, τ, МПа (при P=0,2 МПа)	Условное сопротивление статическому зондированию, q _s , МПа	Условное сопротивление боковой поверхности зонда, f _s , кПа	Условное расчетное сопротивление, R ₀ , МПа
Верхне-меловые отложения (карбонатно-глинистые грунты)	100-75	"Разжиженный" мел с наличием вторичных коллоидных связей	Мел, глинистый мел	45-25	1,5-1,9	1,2-0,7	10-22	22-28	40-55	0,1-0,16	1,0-3,0	10-80	0,1-0,2
	100-75	Хрупкие разности с выраженной структурной связью	Известняк (мел)	40-22	1,6-1,9	1,0-0,7	30-45	25-32	65-95	0,14-0,20	2,5-8,0	100-180	0,4-0,5
	75-50	"Разжиженный" мергель, глинистый мергель	мергель	45-30	1,40-1,85	1,4-0,9	10-25	17-32	28-50	0,045-0,16	1,0-4,5	10-140	0,1-0,2
	50-25	Глинистый мергель с наличием вторичных коллоидных связей	Глинистый мергель	50-35	1,35-1,75	1,5-0,9	10-20	23-30	20-50	0,10-0,20	1,0-4,0	40-100	0,1-0,2
	25-5	I _p > 17	Глина известковистая	45-20	1,8-2,0	1,02-0,75	12-20	14-25	45-60	0,070-0,20	2,5-10,0	60-80	0,2-0,3
	5-1	I _p > 17	Глина с примесью известки	35-20	1,9-2,1	0,9-0,65	15-25	10-24	50-65	0,15-0,21	3,0-12,0	80-100	0,3-0,4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как уже отмечалось, в статье в основном рассматриваются две группы мергельно-меловых отложений по генезису: четвертичного и верхнемелового периодов. Четвертичные отложения – карбонатный (известковистый) сапропель, мел, мергель, карбонатные суглинки и глины (илы) - по классификации ТКП45-5.01-67-2007 [8]. Физико-механические характеристики в основном зависят от содержания органики (I_m) и CaCO_3 . Чем больше органики, тем больше влажность, меньше плотность и соответственно меньше прочность, и больше деформируемости грунта.

В результате анализа многочисленных испытаний по определению содержания органики, CaCO_3 , влажности, зольности ($z_u=100 - I_m$), плотности твердых частиц, плотности сухого грунта установлены корреляционные зависимости между указанными показателями, и результаты анализа сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Корреляционная зависимость между физическими характеристиками мергельно-меловых отложений и карбонатных глин четвертичного периода

Физические показатели и вид зависимости	Число испытаний	Вид грунта и пределы испытаний	Корреляционные зависимости	Среднее отклонение функций	Коэффициент корреляции
$\rho_s=f(Z_c)$	148	Известковистые (карбонатные) сапропели $Z_c=50-90\%$	$\rho_s=0,012 Z_c=1,39,$ г/см ³	0,045	0,82
$\rho_s=f(Z_c)$	54	Болотный мергель $Z_c>90\%$	$\rho_s=0,0375 Z_c=1,08,$ г/см ³	0,05	0,83
$\rho_d=f(W)$	138	Болотный мергель $W=30-120\%$	$\rho_d = \frac{1}{0,445 + 0,01W},$ г/см ³	0,012	0,92
$\rho_d=f(W)$	280	Карбонатная сапропель $W=120-800\%$	$\rho_d = \frac{1}{0,445 + 0,01W},$ г/см ³	0,08	0,92

Таким образом, плотность твердых частиц ρ_s озерно-ледникового мергеля и карбонатных глин колеблется от 2,30 г/см³ до 2,67 г/см³, а карбонатных сапропелей от 1,99 г/см³ до 2,47 г/см³. Плотность сухого грунта ρ_d , соответственно от 0,6 г/см³ до 1,34 г/см³ и 0,2 г/см³ до 0,54 г/см³.

Проведенные исследования изменения ρ_s и ρ_d , коэффициента пористости мергельно-меловых отложений верхнемелового периода показали, что указанные характеристики соответственно колеблются (согласно классификации таблицы 1): ρ_d от 1,75 г/см³ при $\text{CaCO}_3=50\%$ до 1,3 г/см³ при $\text{CaCO}_3=98\%$, соответственно ρ_d от 2,71 до 2,78 г/см³, коэффициент пористости e от 0,8 до 1,1 г/см³, а влажность от 25% до 45%.

Нормативные значения физико-механических характеристик мергельно-меловых отложений верхнемелового периода приведены в таблице 1.

Нормативная прочность мергельно-меловых отложений верхнемелового периода в зависимости от значения условного сопротивления зондированием под наконечником зонда (q_3) при статическом зондировании устанавливается по таблице 3.

В результате обработки результатов испытаний плотности сухого грунта (ρ_d) и содержания карбонатов CaCO_3 установлена экспериментальная кривая изменения (ρ_d) от содержания CaCO_3 (рисунок 1).

Таблица 3 – Прочность мергельно-меловых отложений верхнемелового периода в зависимости от результатов статического зондирования

Вид мергельно-меловых отложений (грунтов)	Характер структурных связей	Прочность мергельно-меловых отложений (грунтов) при удельном сопротивлении грунта под наконечником зонда, q_s , МПа		
		прочные	Средней прочности	Слабые (малопрочные)
Мел	"Разжиженный" (пластичный) мел с наличием вторичных коллоидных связей	$3,0 < q_s$	$1,0 \leq q_s \leq 3,0$	$q_s < 1,0$
Известняк (мел)	Хрупкие разности с выраженной структурной связью	$6,0 < q_s$	$2,5 \leq q_s \leq 6,0$	$q_s < 2,5$
Мергель, глинистый мергель	"Разжиженный" (пластичный) мергель, глинистый мергель с наличием вторичных коллоидных связей	$4,5 < q_s$	$1,0 \leq q_s \leq 4,5$	$q_s \leq 1,0$

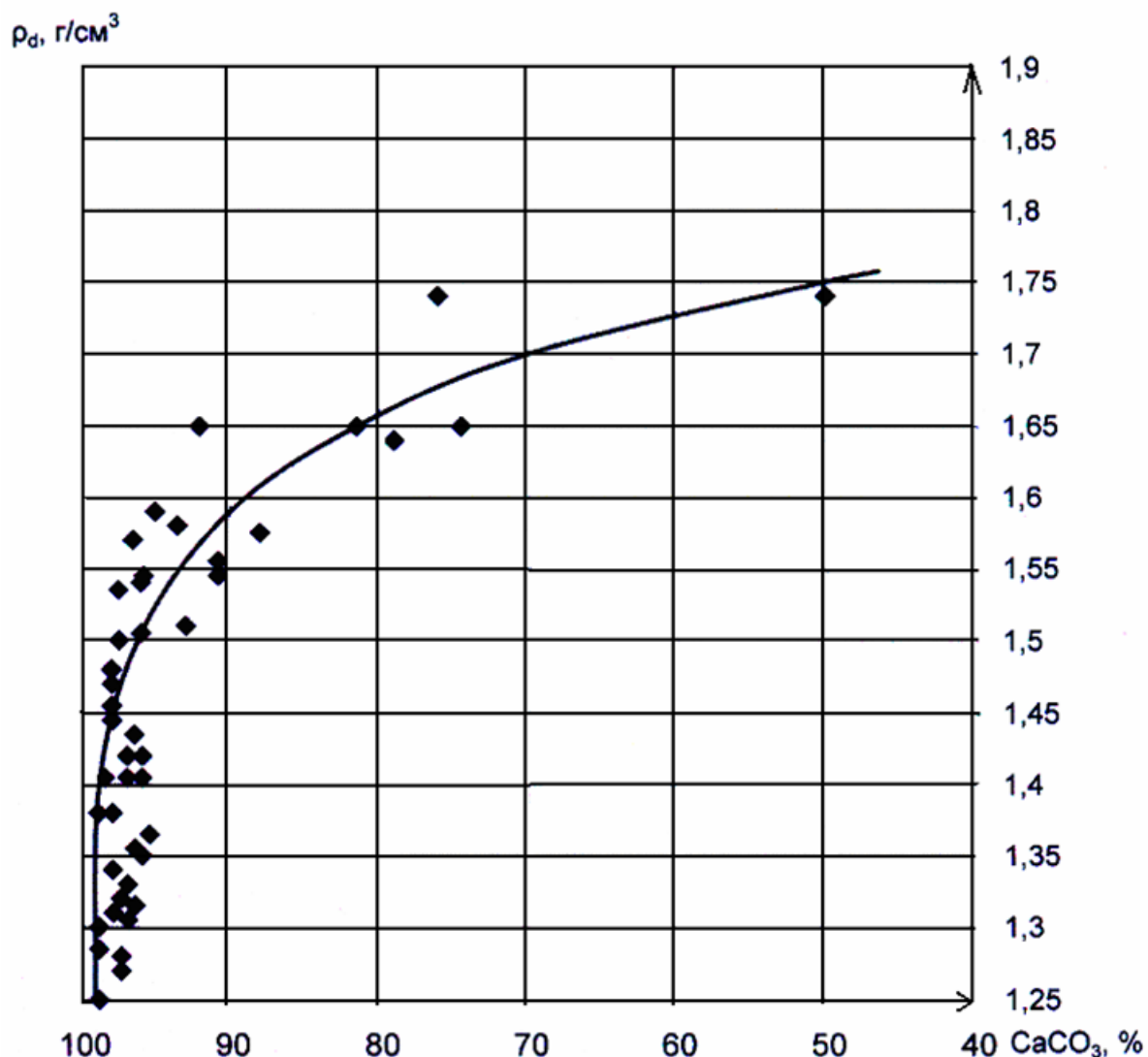


Рисунок 1 – Зависимость объемного веса сухого грунта (ρ_d) от содержания CaCO_3 для меловых отложений верхнемелового периода

Для мергельно-меловых отложений верхнемелового периода установлена корреляционная зависимость модуля деформации (E) для штамповых испытаний (штамп площадью 5000 см²) от значения условного сопротивления зондирования под наконечником зонда (q_s) при статическом зондировании:

$$E = \frac{4,91 \cdot \overline{q_s}}{e} + 0,5 \text{ МПа} \quad (1)$$

где E – модуль деформации в интервале давления P=0,1-0,5 МПа.

Коэффициент вариации 11%, пределы измерения: q_s = 0,5-6,0 МПа.

Также установлена взаимосвязь штамповых испытаний и статического зондирования для озерно-болотных мергелей:

$$E = \frac{3,1 \cdot \overline{q_s}}{e} + 0,11 \text{ МПа} \quad (2)$$

Коэффициент вариации 12%, пределы измерений q_s = 0,5-4,0 МПа.

Особые отличия мергельно-меловых отложений верхнемелового и четвертичного периодов в основном заключаются в следующем:

1. Влажность четвертичных отложений значительно больше, т.е. от 30 до 250%, а верхнемеловых от 25% до 45%;

2. Объемный вес сухого грунта соответственно от 0,6 до 0,2 г/см³ и от 1,25 до 1,75 г/см³;

3. Коэффициент пористости соответственно от 4,0 до 1,8 и от 0,7 до 1,25;

4. В четвертичных отложениях всегда присутствует органическое вещество;

5. При статической вертикальной нагрузке (штамп) четвертичных отложений при p>0,25 резко уменьшается модуль деформации, а в верхнемеловых пропорционально сохраняется до нагрузок 0,5-0,7 МПа и более.

6. Модуль деформации изменяется соответственно от 1,5 до 4,0 МПа и от 7,0 до 25 МПа и более.

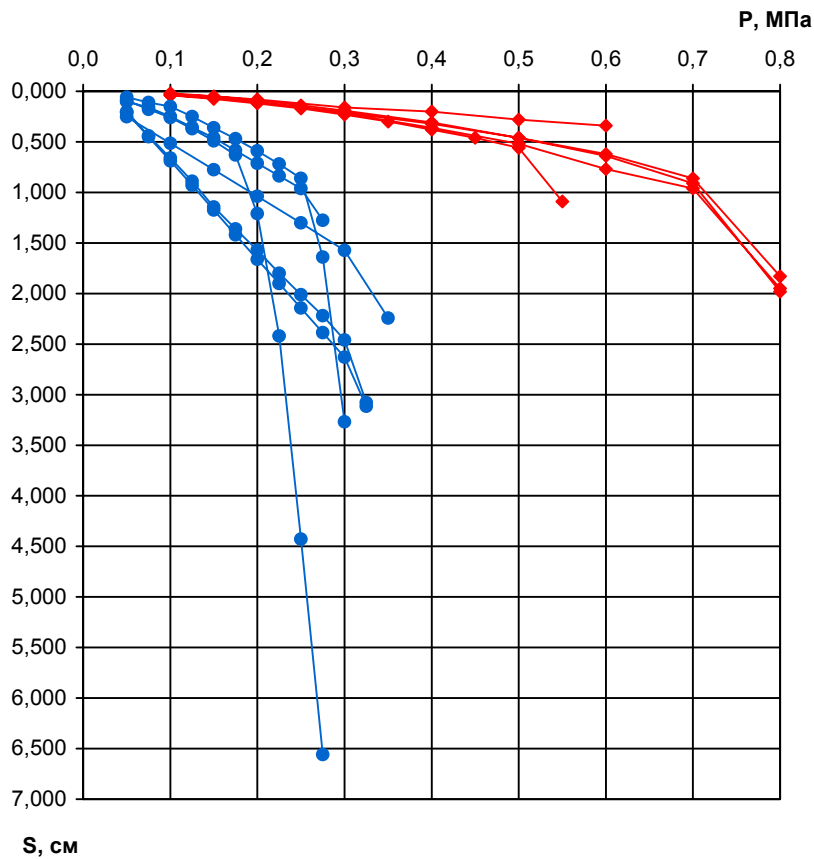
Характерные графики испытаний статической нагрузкой приведены на рисунке 2.

К динамическим нагрузкам оба вида отложений очень чувствительны, особенно четвертичные.

По результатам испытаний забивных и набивных свай в мергельно-меловых отложениях, выполненных различными организациями республики (РУП "Институт БелНИИС", Белгипродор, "Стройкомплекс", УП "Геосервис" и др.), в таблице 4, рисунках 3 и 4 приводятся расчетные сопротивления на боковой поверхности свай и коэффициента перехода от статического зондирования к несущей способности забивных свай. Опыт испытаний показывает, что при "отдыхе" свай более трех недель после забивки несущая способность свай значительно повышается (до 2-х раз).

Здесь следует отметить, что забивные и набивные сваи (имеется ввиду острие свай) в озерно-ледниковых мергельно-меловых отложениях четвертичного периода оставлять не рекомендуется из-за достаточно низкой несущей способности их, поэтому они должны прорезаться сваями и расчет вести только по боковой поверхности свай. Мергельно-меловые отложения верхнемелового периода могут использоваться как несущий слой под острием при условном сопротивлении статическому зондированию q_s≥3,0 МПа и на боковой поверхности при любом значении условного сопротивления f_s.

В тоже время следует отметить, что полученные результаты по сваям, из-за небольшого количества испытаний (32) недостаточны для составления нормативных таблиц и могут применяться как рекомендательные с уточнением прямыми испытаниями.



- - мергельно-меловые отложения верхнемелового периода;
- - мергельно-меловые отложения четвертичного периода (болотные мергели)

Рисунок 2 - Характерные графики статических испытаний штампом мергельно-меловых отложений верхнемелового и четвертичного периодов

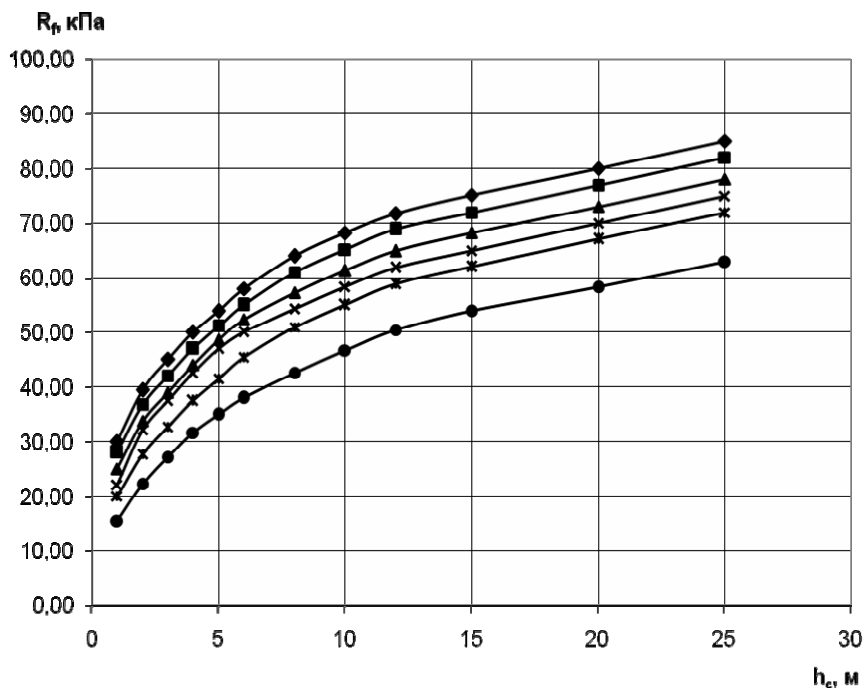
Таблица 4 - Определение несущей способности забивных свай по результатам статического зондирования для мергельно-меловых отложений верхнемелового периода

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда \bar{q}_{si} , МПа	Значения коэффициента β_{1i} в зависимости от удельного сопротивления \bar{q}_{si} для пластичного мела, мергеля, глинистого мергеля	Удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности зонда \bar{f}_{si} , кПа	Значения коэффициента β_{2i} в зависимости от удельного сопротивления \bar{f}_{si} для зондов II и III типов для пластичного мела, мергеля, глинистого мергеля
1	1,00	10	1,30
2	0,85	20	1,10
3	0,70	30	0,90
4	0,58	40	0,81
5	0,48	50	0,75
6	-	60	0,68
7	-	70	0,60
8	-	80	0,53
9	-	90	0,48
>10	-	>100	0,40

Примечания:

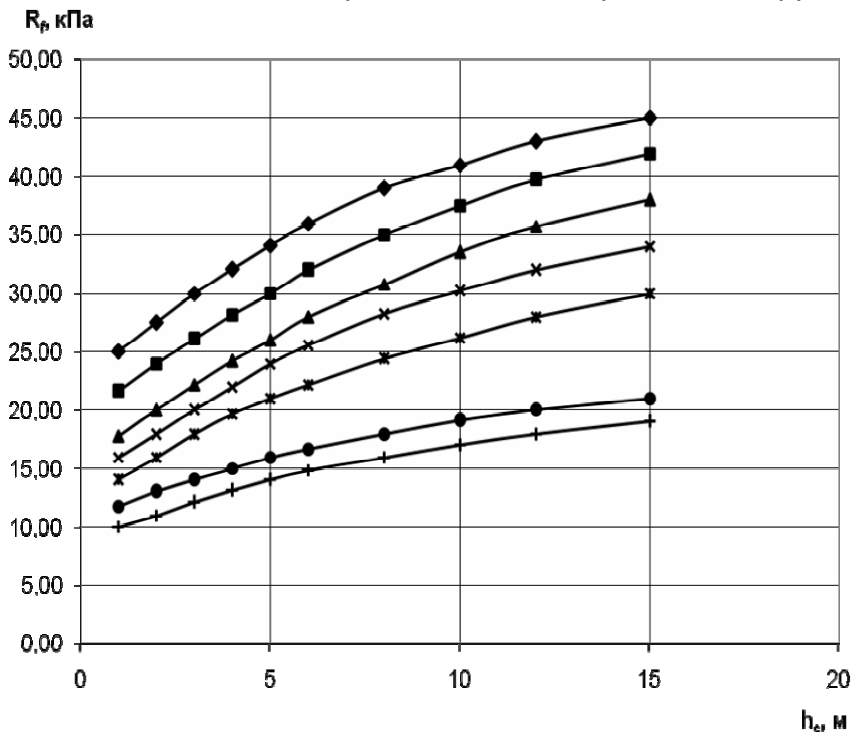
1 При значениях \bar{q}_{si} и \bar{f}_{si} , превышающих указанные в таблице, значения β_{1i} и β_{2i} принимают равными их максимальным значениям, указанным в таблице.

2 Для грунтов с промежуточными значениями \bar{q}_{si} и \bar{f}_{si} значения β_{1i} и β_{2i} определяют интерполяцией.



◆ - при $e = 0,7$; ■ - при $e = 0,8$; ▲ - при $e = 0,9$; × - при $e = 1,0$;
 ж - при $e = 1,1$; ● - при $e = 1,2$

Рисунок 3 - График зависимости расчетного сопротивления грунта по боковой поверхности буронабивных свай или щелевого фундамента R_f , кПа в зависимости от глубины расположения слоя грунта h_c , м и его коэффициента пористости e для мергельно-меловых отложений верхнемелового периода на территории РБ.



◆ - при $e = 0,9$; ■ - при $e = 1,2$; ▲ - при $e = 1,5$; × - при $e = 1,8$;
 ж - при $e = 2,1$; ● - при $e = 2,3$; + - при $e = 2,5$.

Рисунок 4 - График зависимости расчетного сопротивления грунта на боковой поверхности буронабивных свай или щелевого фундамента R_f , кПа в зависимости от глубины расположения слоя грунта h_c , м и его коэффициента пористости e для мергельно-меловых отложений и карбонатных глин четвертичного периода на территории РБ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате исследований разработана классификация мергельно-меловых отложений для целей строительства.

2. Составлены таблицы нормативных физико-механических характеристик мергельно-меловых отложений.

3. Установлены зависимости между модулем деформации и статическим зондированием (условное сопротивление под концом зонда q_s) с учетом состояния грунта.

4. Разработана таблица расчетных сопротивлений на боковой поверхности забивных и набивных свай в зависимости от состояния грунта.

5. Результаты исследований позволяют значительно сократить материальные затраты на устройство фундаментов (10-15%), так как полученные результаты исследований позволяют на основании расчетных характеристик мергельно-меловых отложений выбрать наиболее рациональные фундаменты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копысов Ю.Г. Мергельно-меловые породы востока Беларуси. Из-во Наука и техника", Минск – 1968, 204 с.

2. Акимец В.С. Новые данные по стратиграфии и фораминиферам верхнемеловых отложений восточной части БССР. Сб. "Стратиграфия и палеонтология БССР", вып. IV, из-во АН БССР, 1963.

3. Бушинский Г.И. Литология меловых отложений Днепровско-Донецкой впадины. Тр. ИГН АН БССР, вып. 156, сер. геол. NO, 1954.

4. Дзилна И.Л. Инженерно-геологические свойства мергельно-меловых пород юго-восточной части Белорусской ССР (бассейн р. Сож). Авт. дисс. Минск, 1961 г.

5. Леонычев А.В. Мел как основание сооружений. Авт. дисс., М., 1972 г.

6. СТБ 943-2007. Грунты. Классификация.

7. Сеськов В.Е. Биогенные грунты Белоруссии и использование их в качестве оснований зданий и сооружений // Обзор. инф. Серия 07.11.29. Основания и фундаменты. – Минск, БелНИИНТИ, 1989, - 56 с.

8. ТКП 45-5.01-67-2007(02250) Фундаменты плитные. Правила проектирования.