

**Аскар Жагпарович Жусупбеков
Карлыгаш Боранбайқызы Борбекова**

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

**ГЕОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И
ТЕСТИРОВАНИЕ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ
В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ КАЗАХСТАНА**

Аннотация. В статье приведены результаты исследования определения несущей способности составных железобетонных свай, примененных впервые на строительной площадке «Сооружения разгрузки грузов» в Западном Казахстане. Несущая способность свай была определена обычными интерпретационными методами, вычислительными методами в компьютерной программе APILE analysis и по казахстанскому стандарту, а также динамическим методом PDA (pile driving analyzer) при забивке свай. Результаты интерпретационных методов De Beer, Davidson, Fuller&Hoу и Butler&Hoу были найдены схожими с данными, полученными динамическим методом PDA, вычислительными методами в компьютерной программе APILE analysis и казахстанскому стандарту. Описанные в статье методы могут быть применены для определения несущей способности свай и анализа взаимодействия забивных свай со сложными грунтовыми условиями Западного Казахстана.

Ключевые слова: испытания свай, APILE, PDA, несущая способность

Составные железобетонные сваи были впервые установлены на строительной площадке проекта «Сооружение разгрузки грузов» – важного стратегического проекта по расширению нефтяных месторождений по маршруту транспортировки грузов на Северо-Восточной части Каспийского моря.

Сооружение для разгрузки грузов (далее – СРГ) представляет собой специальную железобетонную поверхность, поддерживающую большие краны, необходимые для разгрузки грузовых крупногабаритных и генеральных грузов.

Для комплексного изучения взаимодействия составных железобетонных свай (далее – СЖБС) с грунтом были проведены полевые статические и динамические испытания свай на тестовые сваи. Перед установкой свай были сделаны лидерные буровые скважины. Скважины были изготовлены двумя методами с выемкой и без выемки грунта.

СЖБС состоял из двух сегментов с поперечным сечением 40 см x 40 см с длиной нижнего сегмента 16,0 м и верхних сегментов 9,5 и 11,5 м. Голова нижнего сегмента и нижняя часть верхнего сегмента имели стальные пластины, которые имели соединительные и запирающие механизмы. Сваи были покрыты антикоррозийным материалом (битумным) и отмечены поперечными линиями каждые 0,25 м. Перед забивкой нижнего сегмента на верхнюю часть сваи была прикреплена нейлоновая пластина (Emesa) с пределом текучести 72 МПа и толщиной 6 см. При забивке между молотом и сваей использовали деревянную подушку. Нейлоновая пластина и деревянная подушка служили для сохранения головы сваи в хорошем состоянии.

Территория проекта расположена на Северном Каспийском шельфе. Сейчас в северной части Каспийского моря вода имеет ограниченную глубину (максимум 5-8 м). Уровень воды в Каспийском море зависит от баланса между притоком речной воды и испарением.

В таблице 1 показана инженерно-геологическая структура строительной площадки. Они были получены в результате лабораторных тестирований.

Таблица 1 – Инженерно-геологическая структура строительной площадки

Глубина слоя, м	Тип почвы	Общая консистенция	C	φ град.	γ_{natural} кН/м ³	S _u кПа	E _{oed}
0,5	ИЛ	Мягкий, твердый	0.7	29,4	19.3	-	2.750
4	ПЕСОК	Среднеплотный, плотный	2.7	31.5	19.0	-	30.000

4	ГЛИНА	Жесткая	20.8	24.7	19.1	80	2.000
19	ГЛИНА	Плотная	25	24.7	20.2	150	2.000

На строительной площадке в полевых условиях испытано три составных железобетонных свай. Полевые динамические испытания свай выполнялись на составных железобетонных сваях с помощью PDA (Анализатор забивки свай - модель PAX) с использованием установки JUNTAN PM25LC с гидравлическим молотом ННК-9А весом 9 тонн и насадкой 990 кг. На тестовые сваи были установлены датчики, подключенные к анализатору (PDA) через специальные кабеля. Для каждого удара молота PDA сразу отображает на экране монитора измеренную силу под нижним концом сваи $F_{\text{measured}}(t)$ и скорость перемещения сваи $v_{\text{measured}}(t)$ в зависимости от времени. Результаты динамических испытаний анализируются в компьютерной программе PDIPLOT2 Ver 2016.1.56.3-Case Method & iCAP® Results.

Средняя несущая способность составных железобетонных свай, полученных с анализированных данных [2], показана в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты динамических испытаний свай (ед. изм. в кН)

Наименование	A1	A2	A3
Несущая способность	2202	1768	2497

Три полевых испытания на статическую нагрузку 3278 кН проведены согласно требованиям D1143 Американского общества по испытанию материалов и были получены кривые нагрузка-осадка [1]. На рисунке 1 показаны основные показатели согласно проведенным испытаниям.

Согласно полученным кривым нагрузка-осадка при проведении полевых испытаний свай на статическую нагрузку определены различными интерпретационными методами несущая способность тестируемых составных железобетонных свай, а именно Davisson, Chin, De Beer, Fuller&Hoy, Butler &Hoy и Decourt [3, 4].

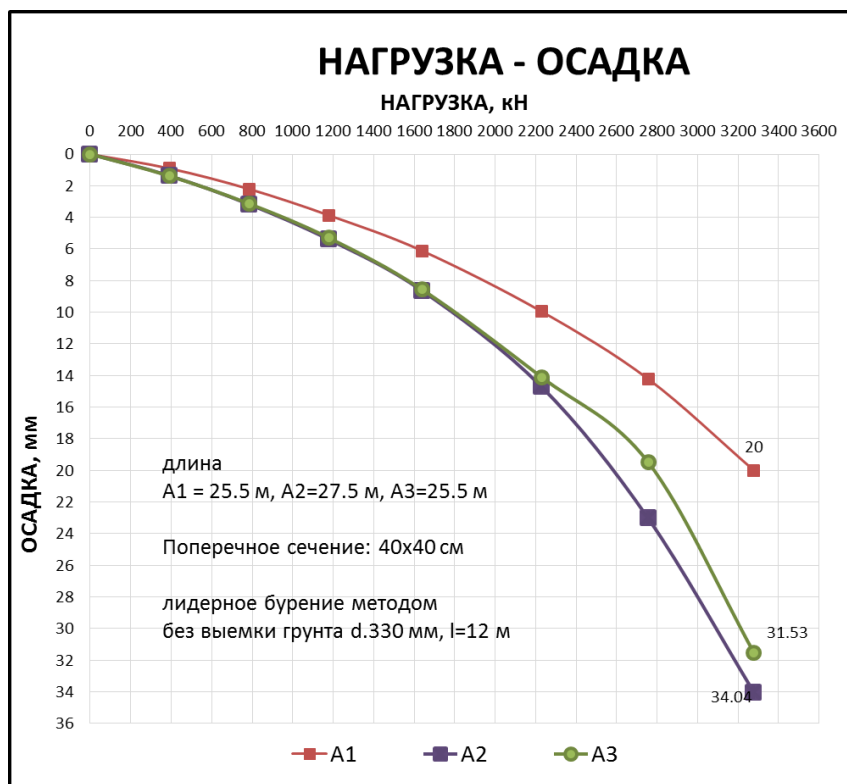


Рисунок 1 – Кривые нагрузка-осадка при проведении полевых испытаний свай

Из сравнения результатов интерпретации различными методами можно сделать вывод о том, что методы экстраполяции Chin и Decourt аналогичны и показывают самые

высокие значения по сравнению со всеми результатами испытанных свай, метод Butler&Hoy демонстрирует минимальное количество несущей способности. В этом случае методы Davidson, De Beer и Fuller&Hoy дают усредненные значения (таблица 4).

Таблица 4 – Несущая способность СЖБС, определенная интерпретационными методами (ед. изм. в кН)

Методы	A1	A2	A3
Davidson	2873	2400	2609
Chin	5000	5000	5000
De Beer	2322	2287	2584
Fuller & Hoy	3012	3025	3028
Butler & Hoy	2279	2224	2445
Decourt	4931	4624	4988

В программном обеспечении APILE analysis исходными данными для анализа применялись физические и механические характеристики слоев грунта строительной площадки. Согласно Таблице 1, расчет несущей способности одной сваи при вертикальном погружении проводился четырьмя методами, которые были рекомендованы Американским институтом нефти (API), Федеральной автомобильной администрацией США (FHWY), Армейским корпусом инженеров США (Army Corps) и Lambda [5]. Несущая способность напрямую зависит от глубины погружения сваи.

В таблице 5 показаны значения несущей способности СЖБС, полученные из всех четырех методов анализа APILE, а также их усредненные значения. Из-за ограничений в программном обеспечении APILE analysis для расчета не учитывался слой грунта (ил) толщиной 0,5 м.

Таблица 5. Результаты несущей способности, определенные в программе APILE analysis (ед. изм. в кН)

№	Методы	A1	A2	A3
1	API	2430	2744	2130
2	FHWY	2314	2521	2108
3	Army Corps	2332	2572	2092
4	Lambda	2088	2337	1848
Усредненное значение		2291	2544	2045

Несущую способность испытываемых висячих свай можно определять как сумму сил расчетных сопротивлений грунтов оснований под нижним концом сваи и на ее боковой поверхности по формуле [6]:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i) \quad (1)$$

где F_d – несущая способность; γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый $\gamma_c = 1.0$; R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа, принимаемый по таблице 1 СНиП РК (= 8700~9100 кПа); A – площадь опирания на грунт сваи, м², принимаемая по площади поперечного сечения сваи (= 0.16 м²); u – наружный периметр поперечного сечения сваи, м (= 1.6 м); f_i : расчетное сопротивление i -слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, кПа, принимаемое по таблице 2 СНиП РК ($f_1=15$, $f_2=35$, $f_3=44$, $f_4=72\sim76$ кПа); h_i : толщина одного слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью, м.; γ_{cR} , γ_{cf} – коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчетное сопротивление грунта и принимаемые по таблице 3 СНиП РК (=1.0).

В таблице 8 показан результат определения несущей способности СЖБС по Казахстанскому стандартному методу вычисления.

Таблица 8. Результаты вычислительного метода по СНиП РК (ед.изм. кН)

Наименование сваи	A1	A2	A3
Несущая способность	2836	3043	2670

С помощью методов интерпретации были изучены несущие способности составных железобетонных свай при нагрузке 3278 кН в проекте Сооружение разгрузки грузов в Западном Казахстане. Их результаты сравнены с результатами, полученными на основе анализа PDA и APILE (Рисунок 2). Для максимальной нагрузки 3278 кН установлено, что методы Chin и Decourt представляют наибольшие значения. Методы De Beer, Davidson и Fuller&Hoy были схожими. В то же время результаты согласно методу Butler&Hoy были аналогичны с данными PDA, вычислительными методами APILE analysis и по СНиПу.

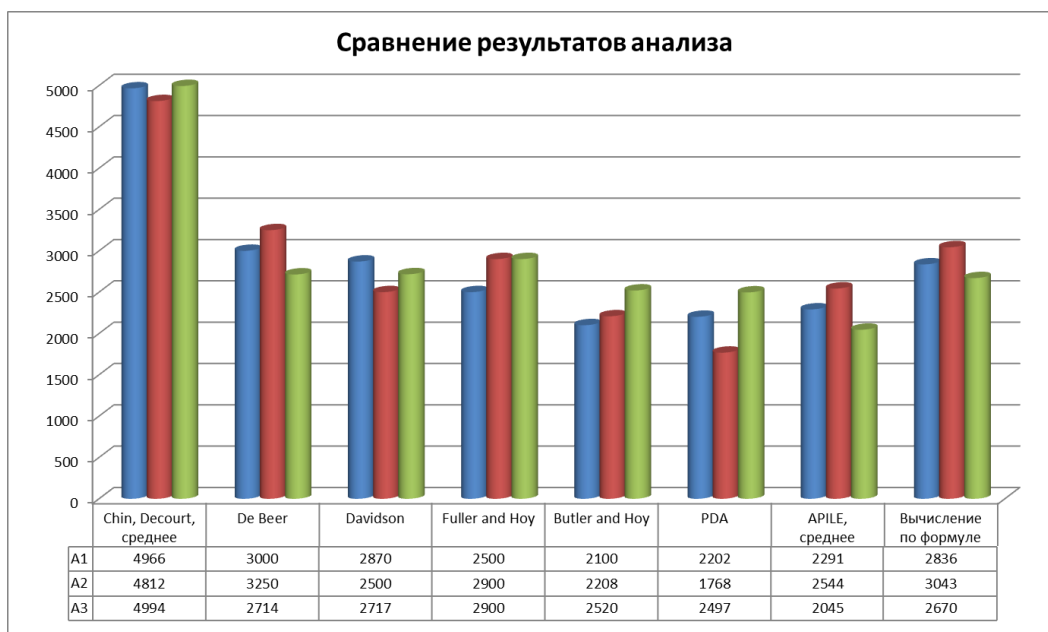


Рисунок 2 – Сравнение результатов, полученных на основе анализа

Для максимальной нагрузки все методы интерпретации, кроме Chin и Decourt, дали более низкие прогнозы. Это очевидно, потому что результаты анализа PDA, APILE analysis и СНиП РК подходят для прогнозирования максимальной несущей способности. Окончательная несущая способность составных железобетонных свай на строительной площадке составляет в пределах 2000 ~ 3000 кН.

Описанные в статье методы могут быть применены для определения несущей способности свай и анализа взаимодействия забивных свай со сложными грунтовыми условиями Западного Казахстана.

Список литературы

1. ASTM D1143 Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load. – ASTM International, United States. – 2007.
2. Ashkey Y. Pile dynamic testing PDA and CAPWAP // Отчет № 1. KGS-Astana: Прорва, Казахстан. – 2016.
3. Fellenius B.H. The analysis of results from routine pile load tests // Ground Engineering: London, 1980. – №13(6). – С. 19-31.
4. Fellenius B.H. What capacity value to choose from the results a static loading test. We have determined the capacity, then what? // Deep Foundation Institute: Fulcrum Winter, USA, 2001. – С. 19-26.
5. Reese L.C., Wang Arrellaga J. Computer Program APILE Plus for the Analysis of the Axial Capacity of Driven Piles. – Аустин, Техас, 2007. – 124 с.
6. СНиП РК 5.01-03-2002. Свайные фундаменты. – Астана, 2002. – С.50-53.

GEOTECHNICAL CONSTRUCTION AND PILE FOUNDATIONS TESTING IN THE COMPLEX SOIL CONDITIONS OF KAZAKHSTAN

Askar Zhussupbekov and Karlygash Borgekova

The paper presents discussions of the bearing capacities of precast concrete joint piles from construction site of the port of Prorva located on the Northeast Caspian Sea. Precast concrete joint piles with cross-section of 40 cm x 40 cm with the total length of 27.5m were used first time in the West Kazakhstan. The piles bearing capacities were received by variety of conventional interpretation methods, computational methods as APILE analysis and Kazakhstani standard method, as well as by pile driving analyzer. The conventional interpretation methods were applied to load-settlement curves obtained by static loading tests. The analysis showed the highest pile capacities from the Chin interpretation and Decourt extrapolation methods. The results from De Beer, Davidson and Fuller & Hoy interpretation methods were similar. The result from Butler & Hoy interpretation method was found similar to the ones obtained from pile driving analyzer, APILE analysis and Kazakhstani standart. The consequentially performed procedures described in the paper may serve as practical guideline for engineers and design-engineers.

Key words: pile loading tests, APILE, PDA, pile capacity