

*Ларцева И.И., к.т.н., доцент
Савенко Р.Г., д.т.н., профессор
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка
Разумов А.Ю., директор по производству
Каргаполов С.В., главный инженер проекта
Рожовская Л.И., главный инженер проекта
ПАО «ДИОС», г. Мариуполь
Кияшко Н.Ю., заместитель технического директора по капитальному строительству
ОАО «Полтавский ГОК», г. Комсомольск*

ПРИМЕНЕНИЕ БУРОСМЕСИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ ОБЪЕКТОВ ПОЛТАВСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

На конкретных примерах строительства объектов ОАО «Полтавский горно-обогатительный комбинат» проведен сравнительный анализ стоимости устройства 4-х вариантов фундаментов: буронабивных свай в обсадных трубах, забивных свай, упрочнение грунтов грунтоцементными элементами и щебеночное основание. Показана целесообразность использования буросмесительной технологии закрепления грунтов, которая позволила перейти от свайных фундаментов к фундаментам мелкозаложенности на упрочненном основании.

Ключевые слова: буросмесительная технология, грунтоцементные элементы, фундаменты мелкозаложенности.

*Ларцева І.І., к.т.н., доцент
Савенко Р.Г., д.т.н., професор
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
Разумов А.Ю., директор з виробництва
Каргаполов С.В., головний інженер проекту
Рожовська Л.І., головний інженер проекту
ПАТ «ДІОС», м. Маріуполь
Кіяшко М.Ю., заступник технічного директора з капітального будівництва
ВАТ «Полтавський ГЗК», м. Комсомольськ*

ЗАСТОСУВАННЯ БУРОЗМІШУВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПОСИЛЕННЯ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ ОБ'ЄКТІВ ПОЛТАВСЬКОГО ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ

На конкретних прикладах будівництва об'єктів ВАТ «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат» проведено порівняльний аналіз вартості улаштування 4-х варіантів фундаментів: буронабивних паль в обсадних трубах, забивних паль, підсилення ґрунтів ґрунтоцементними елементами і щебенева основа. Показано доцільність використання бурозмішувальної технології закріплення ґрунтів, яка дозволила перейти від пальових фундаментів до фундаментів мілкозакладання на посиленій основі.

Ключові слова: бурозмішувальна технологія, ґрунтоцементні елементи, фундаменти мілкозакладання.

*Lartseva I., PhD, Assistant Professor
Savenko R., ScD, Professor
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University
Razumov A., production director
Kargapolov S., Chief Engineer Proect
Rozhovskaya L., Chief Engineer Proect
PJSC «DIOS», Mariupol
Kiyashko N., deputy technical director for capital construction
JSC «Poltava GOK», Komsomolsk*

USING OF BORING AND MIXING TECHNOLOGY TO STRENGTHEN SUBFOUNDATION OF THE FACILITIES POLTAVA MINING AND PROCESSING PLANT

The pile bases, which cut all weak thickness and lean in suitable soil, often apply at construction in the engineering-geological conditions presented by soil with special characteristics (for example, loessial collapsible soil, water-saturated clay, peat, il, dusty sand, etc.). The device of the bases on previously strengthened basis is also quite popular in such conditions. Today in many countries of the world actively apply boring&mixing and jet technology of cementation of soil.

In Ukraine the most widespread is the boring&mixing technology of strengthening of soil. One of the main advantages of use of this technology is that soil-cement elements can suit lower than a level of ground waters. For production the soil-cement elements use the boring machine, a mixer to solution and the pump for solution.

The Poltava mining and processing plant carries out a full production cycle – from production of crude ore before production of iron ore pellets – the prepared raw materials for steel works. Ore processing, production of a concentrate, crushed stone and pellets is carried out on the overworking complex consisting of crushing, concentrating factory and shop on production of pellets.

The geological structure of a platform of building is presented by alluvial sand, from dusty to average fineness which from a surface up to the depth of 0,6 – 3,1 m are blocked by a bulk layer (sand small, with inclusion of construction garbage, crushed stone, fragments of solid rocks), and up to the depth of 5,0 – 5,7 m – small alluvial sand. Within a platform treat adverse engineering-geological processes: flooding of the territory; dynamic impact on sandy soil from the movement of railway transport, works of the production equipment, and also explosive works on career that can lead to their dynamic depression; manifestation of a mechanical suffosion at operation of the water bearing communications.

The shallow foundations on the strengthened basis are accepted as the most economic in these engineering-geological conditions.

Value of necessary settlement resistance of the strengthened basis of $R=350 - 450$ kPas was provided by regulation of a step of elements from 1x1 m to 1,5x1,5 m. For uniform distribution of loading from the base on the strengthened massif between a sole of the bases and the top sawn-off shotgun of elements is arranged a crushed-stone pillow 400 mm thick.

Thus, positive experience of application the vertical soil-cement elements for strengthening of the bases of objects of mining and processing works is presented in article. Thanks to boring&mixing technology it was possible in adverse engineering-geological conditions to execute the shallow foundations instead of expensive pile bases.

Keywords: *boring and mixing technology, soil-cement elements, shallow foundations.*

Введение. При строительстве в инженерно-геологических условиях, представленных грунтами с особыми свойствами (например, лессовыми просадочными, водонасыщенными глинистыми, заторфованными, илистыми, пылеватыми песками и т.д.), зачастую применяют свайные фундаменты, которые прорезают всю слабую толщу и опираются в пригодные грунты. Также довольно популярным в таких условиях является устройство фундаментов на предварительно усиленном основании. Сегодня во многих странах мира активно применяют буросмесительную и струйную цементации грунтов. Пример использования буросмесительного метода усиления оснований приведен в этой статье.

Анализ последних источников исследований и публикаций. На территории Украины наиболее распространенной является буросмесительная технология усиления грунтов, при помощи которой в массиве грунта создаются вертикальные грунтоцементные элементы (ГЦЭ). В результате этого у композитной системы «грунт – ГЦЭ» прочностные и деформационные показатели, в частности расчетное сопротивление и модуль деформации массива, гораздо выше по сравнению со слабым грунтом. Эти характеристики рекомендуется определять согласно нормам [1, 2], а также по результатам проведения штамповых испытаний. Одним из главных преимуществ использования этой технологии является то, что грунтоцементные элементы можно устраивать ниже уровня грунтовых вод. Устройство ГЦЭ реализуется при помощи буровой машины, растворомешалки и растворонасоса. Цементный раствор, выполненный из портландцемента марки М400 и воды в водоцементном отношении В/Ц = 0,6 – 1, вводится в грунт через полую штангу, при этом одновременно проводится бурение грунта [3 – 5, 8, 9].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Нормативным документом [1] рекомендуется в сложных инженерно-геологических условиях, которые представлены слабыми грунтами, рассматривать вариант фундаментов неглубокого заложения на основании, усиленном грунтоцементными элементами. В Украине еще не накоплено достаточно опыта для выполнения таких работ.

Постановка задачи. Целью работы является сравнение вариантов устройства оснований объектов Полтавского ГОКа и освещение конкретного примера усиления оснований вертикальными грунтоцементными элементами, выполненными по буросмесительной технологии.

Основной материал и результаты. Полтавский ГОК выполняет полный технологический цикл – от добычи сырой руды до производства железорудных окатышей – подготовленного сырья для металлургических заводов. Переработка руды, производство концентрата, щебня и окатышей осуществляется на перерабатывающем комплексе, состоящем из дробильной, обогатительной фабрики и цеха по производству окатышей. На существующей фабричной промплощадке предполагалось построить:

– комплекс дополнительных технологических трактов и комплекс подачи руды на секцию № 9. Комплекс дополнительных технологических трактов включает в себя участок дополнительных технологических трактов, два перегрузочных узла, три галереи, эстакады трубопроводов и др.;

– комплекс реконструкции секции № 9 включает вновь проектируемые галереи № 1, № 2; эстакаду трубопроводов; перегрузочный узел подачи раздробленной руды; корпус измельчения и сепарации; бункер раздробленной руды и т.д.

Проектируемые здания дополнительных технологических трактов – отапливаемые однопролетные одноэтажные здания каркасного типа размерами в плане в осях 33,5×77 м примыкают торцом к существующим зданиям СМД-1, СМД-2. Пролет зданий составляет 33,5 м. Высота до низа стропильных конструкций – 29,5 м. Здания оборудованы мостовым краном грузоподъемностью 50 т/12 т.

Административные помещения располагаются в двухэтажных пристройках каркасного типа, размеры в плане 7×24 м. Высота этажа – 2,7 м. Здания отапливаемые.

Электропомещения располагаются в одноэтажных однопролетных металлических пристройках каркасного типа, размеры в плане 12×31 м, высота до низа несущей конструкции составляет 3,5 м. Здания отапливаемые.

Перегрузочные узлы концентрата из металла, каркасного типа, отапливаемые, с размерами в плане 6,0×12,0 м, высотой до низа несущих конструкций +8,500 м, с обшивкой стен и кровли из профлиста с утеплителем.

Перегрузочные узлы на склад хвостов – из металла, каркасного типа, отапливаемые, с размерами в плане 6,0×8,0 м, высотой до низа несущих конструкций +17,000 м, с обшивкой стен и кровли из профлиста с утеплителем.

Галереи конвейеров № 5, № 6, № 7 – это инженерные сооружения мостового типа, отапливаемые с металлическим каркасом, длиной: № 5 – L=33,1 м; № 6 – L=78,69 м; № 7 – L=99,4 м для СМД-1 и L=106,4 м для СМД-2; сечением 4,3×3,0 (h) м, с обшивкой стен и кровли из профлиста с утеплителем.

Кабельная эстакада – сооружение каркасного типа, с металлическими опорами с шагом 12,0 м, с покрытием из профлиста.

Отделение измельчения и сепарации (оси «1 – 9», «А – Б») представляет собой однопролетное одноэтажное отапливаемое здание каркасного типа, с размерами в плане по осям 33,0×48,0 м, пролетом 33,0 м и шагом колонн 6,0 м, объединенное с бункерным отделением (рис. 1). Основное грузоподъемное оборудование – мостовой кран грузоподъемностью 50/12,5 т. Отметка уровня головки крановой рейки составляет +40,0 м. Надземная часть здания выполнена в стальных конструкциях. Под частью корпуса есть приямки глубиной 3 м, стены которых выполнены из монолитного железобетона. В отделении измельчения и сепарации предусмотрены мельница и другое технологическое оборудование.

Бункерное отделение (оси «1 – 7», «В – Г») – однопролетное одноэтажное отапливаемое здание каркасного типа размерами в плане по осям 13,5×36,0 м, пролетом 13,5 м и с шагом колонн 6,0 м, примыкающее по оси «Б» к отделению измельчения и сепарации (рис. 1). Основное грузоподъемное оборудование – мостовой кран грузоподъемностью 10 т. Отметка уровня головки крановой рейки составляет +40,0 м. Надземная часть здания выполнена в стальных конструкциях.

Электропомещения расположены в одноэтажной однопролетной металлической пристройке каркасного типа, размерами в плане 12,5×33,0 м, пристроены к корпусу измельчения и сепарации по оси «9» (рис. 1). Здание отапливаемое. Высота до низа несущих конструкций составляет 3,5 м [6].

С геоморфологической точки зрения площадка застройки находится в пределах второй (песчаной) террасы левобережной долины р. Днепр. Она приурочена к дюнной части этой долины. Современный рельеф площадки носит техногенный характер. В период с 1974 по 1975 гг. на площадке было осуществлено намыв песка из русла р. Днепр.

Геологическое строение площадки застройки представлено аллювиальными песками, от пылеватых до средней крупности, которые с поверхности до глубины 0,6 – 3,1 м перекрыты насыпным слоем (пески мелкие, с включением строительного мусора, щебня, обломков твердых горных пород), а до глубины 5,0 – 5,7 м – намывными песками, мелкими.

Уровень грунтовых вод на момент изысканий (май 2014 г.) составил 5,7 – 6,7 м от поверхности земли. Годовые и сезонные колебания УГВ достигают до 1,5 м от зафиксированного уровня. Режим грунтовых вод – инфильтрационный. На него также влияет режим колебаний уровня воды в водохранилище.

К неблагоприятным инженерно-геологическим процессам в пределах площадки относятся: подтопление территории; динамическое воздействие на песчаные грунты от движения железнодорожного транспорта, работы производственного оборудования, а также взрывных работ на карьере, что может привести к их динамическому разрежению; проявление механической суффозии при эксплуатации водонесущих коммуникаций.

По результатам инженерно-геологических исследований рекомендовано:

1. Естественным основанием фундаментов сооружений ИГЭ-1 (насыпной слой (песок мелкий, с примесями строительного мусора, щебня, обломков твердых горных пород), слежавшийся) служить не может. ИГЭ-2 (песок намывной, мелкий, однородный, с прослойками средней крупности, средней плотности, от малой до средней степени водонасыщения) залегает выше уровня подошвы фундаментов, окружающих объектов. Фундаментами сооружений его следует прорезать.

2. Естественным основанием фундаментов сооружений может служить ИГЭ-3 (песок мелкий, однородный, средней плотности, насыщенный водой). При проектировании этого варианта фундаментов следует учитывать неблагоприятные инженерно-геологические процессы и явления.

3. Из-за подтопления территории площадки применение фундаментов с извлечением грунта, на природном основании, затруднено. Поэтому с этой целью целесообразно использовать свайные фундаменты, например из буронабивных или грунтоцементных свай. Нижний конец таких свай следует размещать в ИГЭ-4 (песок средней крупности, с прослойками и линзами мелкого и пылеватого, однородный, средней плотности, насыщенный водой) [7].

В представленных инженерно-геологических условиях было проведено экономическое сравнение четырех вариантов устройства фундаментов для рядовых фундаментов каркаса здания основного корпуса в количестве 26-ти штук (табл. 1).

Расчет фундаментов выполнялся из условия соблюдения треугольной эпюры давления под подошвой фундамента (для здания с краном грузоподъемностью 50 т).

Таблица 1 – Сравнительная таблица вариантов устройства оснований

Сравнительные параметры	Варианты устройства оснований			
	буронабивные сваи в обсадных трубах	забивные сваи	упрочнение грунтов ГЦЭ	щебеночное основание
Размер фундамента (ростверка), м	4,2×3	3×3	4,5×3,2	4,5×3,2
Расход бетона, м ³	292	224	-	-
Расход арматуры, кг	15912	15912	-	-
Обсадные трубы, кг	143105	-	-	-
Расход цемента, т	-	-	94	-
Разработка и вывоз грунта, м ³	-	-	-	3200
Расход щебня и его уплотнение, м ³	-	-	-	3200
Стоимость, грн, по ценам 2013 г. (договорная)	2 430 794	517 463	377 395	1 176 594

В данных инженерно-геологических условиях как наиболее экономичный принят вариант фундаментов неглубокого заложения на усиленном основании. В качестве элементов усиления использованы вертикальные грунтоцементные элементы, выполняемые по бурсмесительной технологии. Длина ГЦЭ – 3 и 4 м, диаметр – 500 мм. Длина ГЦЭ принималась таковой, чтобы вся толща ИГЭ-2 – песка намывного, желто-серого, мелкого, однородного, средней плотности, от малой степени водонасыщения до насыщенного водой была прорезана этими элементами.

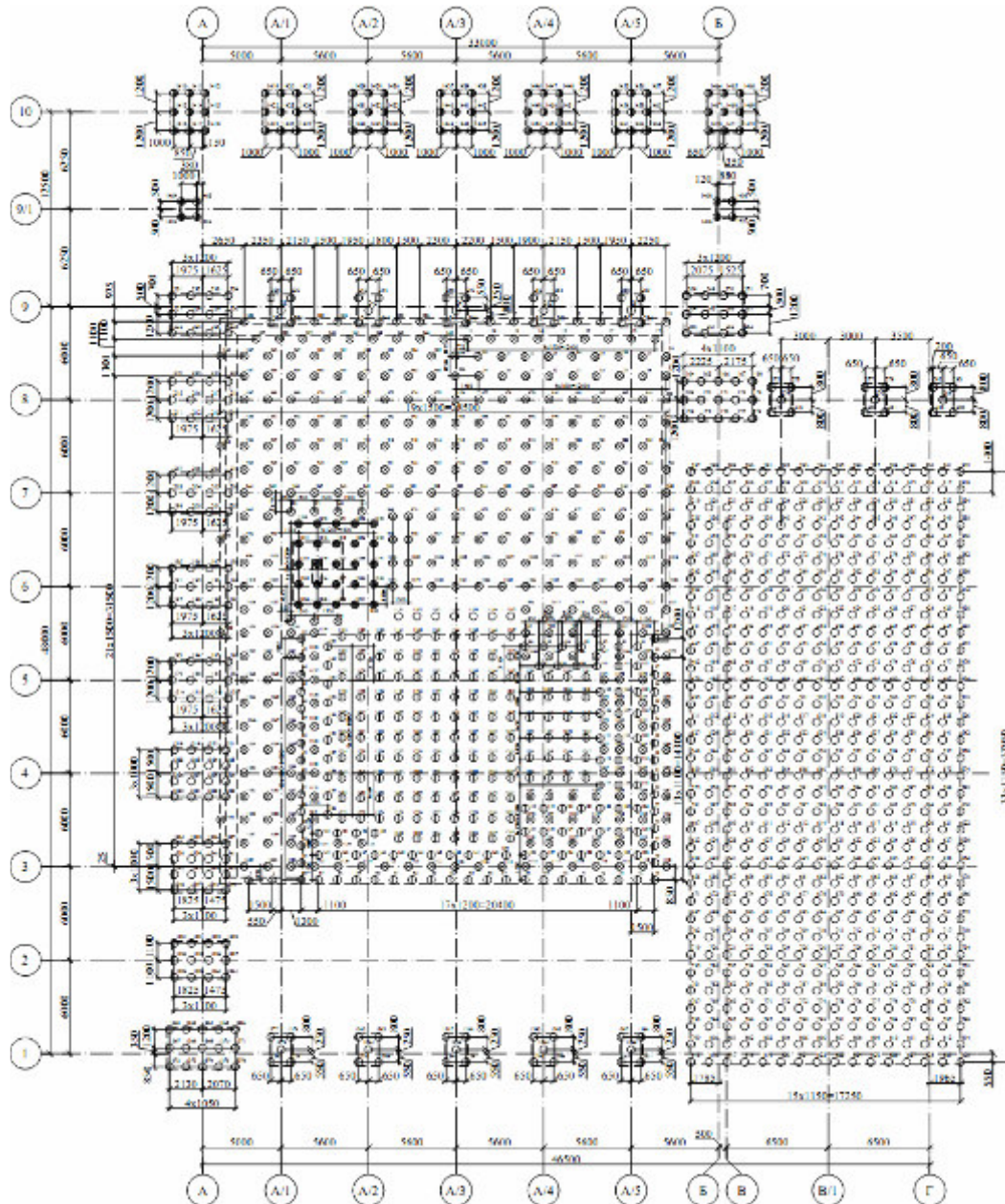


Рисунок 1 – Схема расположения грунтоцементных армирующих элементов

По заданию Донецкого проектного института ПАО «ДИОС» в месте расположения приямка и в бункерном отделении необходимо было обеспечить несущую способность основания 450 кПа, а в остальных местах – 350 кПа.

Значение необходимого расчетного сопротивления усиленного основания $R=350 - 450$ кПа обеспечивалось путем регулирования шага ГЦЭ от 1×1 до $1,5 \times 1,5$ м.

Схема расположения вертикальных грунтоцементных армирующих элементов под фундаментами корпуса измельчения и сепарации, бункерного отделения и электропомещений показана на рис. 1.

Для равномерного распределение нагрузки от фундамента по усиленному массиву между подошвой фундаментов и верхним обрезом ГЦЭ устраивается щебеночная подушка толщиной 400 мм. Вертикальная привязка ГЦЭ для фундаментов корпуса измельчения и сепарации, бункерного отделения и электропомещений к инженерно-геологической колонке представлена на рис. 2.

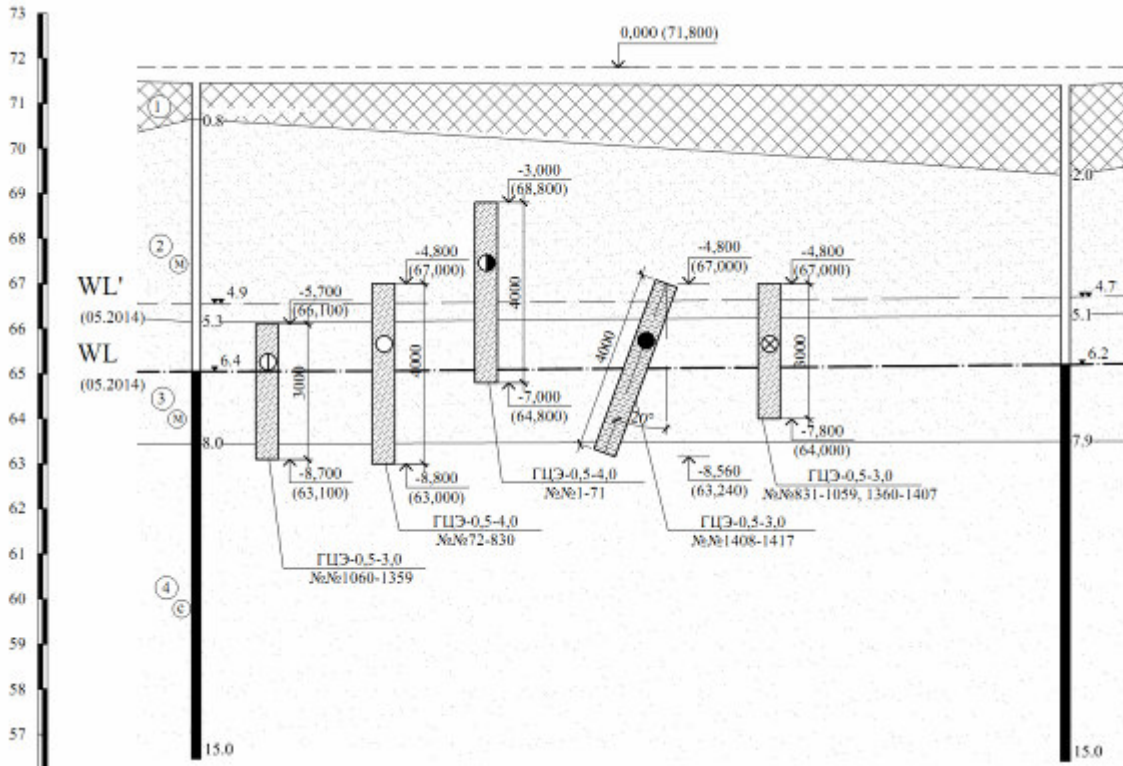


Рисунок 2 – Привязка ГЦЭ к инженерно-геологическому разрезу

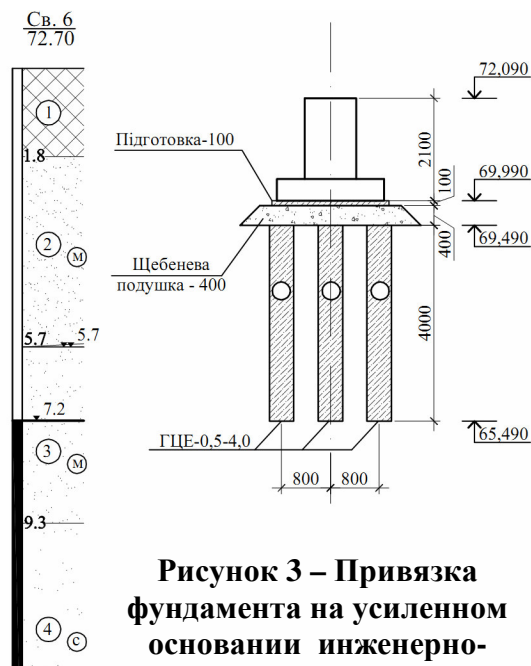


Рисунок 3 – Привязка фундамента на усиленном основании инженерно-геологической колонке

Аналогично запроектировано и выполнено усиление оснований фундаментов галерей № 1 и № 2, узла перегрузки дробленой руды и эстакады трубопроводов.

Вертикальная привязка фундамента галереи № 1 на усиленном основании к инженерно-геологической колонке показана на рис. 3.

Суммарное количество вертикальных ГЦЭ для пяти объектов (корпуса измельчения и сепарации, бункера дробленой руды и электропомещений; галерей № 1 и № 2; эстакад трубопроводов; узла перегрузки дробленой руды) составило более 6 тыс. метров погонных.

Выводы. Таким образом, в статье представлен положительный опыт применения вертикальных грунтоцементных элементов для усиления оснований фундаментов объектов горно-обогатительного комбината. Благодаря буросмесительной технологии удалось в неблагоприятных инженерно-геологических условиях выполнить фундаменты неглубокого заложения и уйти от дорогостоящего варианта свайных фундаментов.

Литература

1. ДБН В.2.1-10-2009. *Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування.* – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
2. ДБН В.2.1-10-2009. *Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування.* Зміна № 2. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 20 с.
3. Зоценко Н. Л. *Закрепление оснований цементацией буросмесительным методом / Н. Л. Зоценко, И. И. Ларцева, В. И. Марченко // Труды Международной конференции «Геотехнические проблемы мегаполисов».* – Т. 5. – М. : ПИ «Геореконструкция», 2010. – С. 1781 – 1788.
4. Токин А. Н. *Фундаменты из цементогрунта / А. Н. Токин.* – М. : Стройиздат, 1984. – 183 с.
5. *Characteristics of Manmade Stiff Grounds Improved by Drill-Mixing Method / M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, V. Shokarev, V. Krysan, I. Lartseva // Proc. of the 15rd European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering «Geotechnics of Hard Soils. – Weak Rocks».* – Athens, 2011. – P. 1097 – 1102.
6. *Реконструкція секції № 9 з прибудовою галереї пульпопроводів, корпусу подрібнення і сепарації, конвеєрних галерей, перевантажувального вузла подачі роздробленої руди. ВАТ «Полтавський ГЗК»: проект.* – Донецьк : ПАТ «ДІОС», 2014.
7. *Технічний звіт за результатами інженерно-геологічних вишукувань на майданчику «ДЗФ. Реконструкція секції № 9 з прибудовою галереї пульпопроводів, корпусу подрібнення і сепарації, конвеєрних галерей, перевантажувального вузла подачі розробленої руди» на ВАТ «Полтавський ГЗК» у м. Комсомольську Полтавської області.* – Полтава: ТОВ «ЕКФА», 2014.
8. *Larsson S. Mixing processes for Ground Improvement by Deep Mixing / S. Larsson // Doctoral Thesis.* – Stockholm, 2003.
9. *Osman A.A.-M. Effect of cement-zeolite grouts on the durability of stabilized clays / A. A.-M. Osman, A. Al-Tabbaa // Proc. of the 17th International Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Olexandria, Egypt, 2009).* – Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington : JOS Press. – 2009. – P. 3 – 6.

© Ларцева І.І., Савенко Р.Г., Разумов А.Ю., Каргаполов С.В., Рожовська Л.І., Кіяшко М.Ю.
Надійшла до редакції 10.12.2015 р.