

ПРИМЕНЕНИЕ РАСШИРЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ ДЛЯ ОПЫТНОГО УСТРОЙСТВА БУРОНАБИВНЫХ И БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Невейков А.Н.

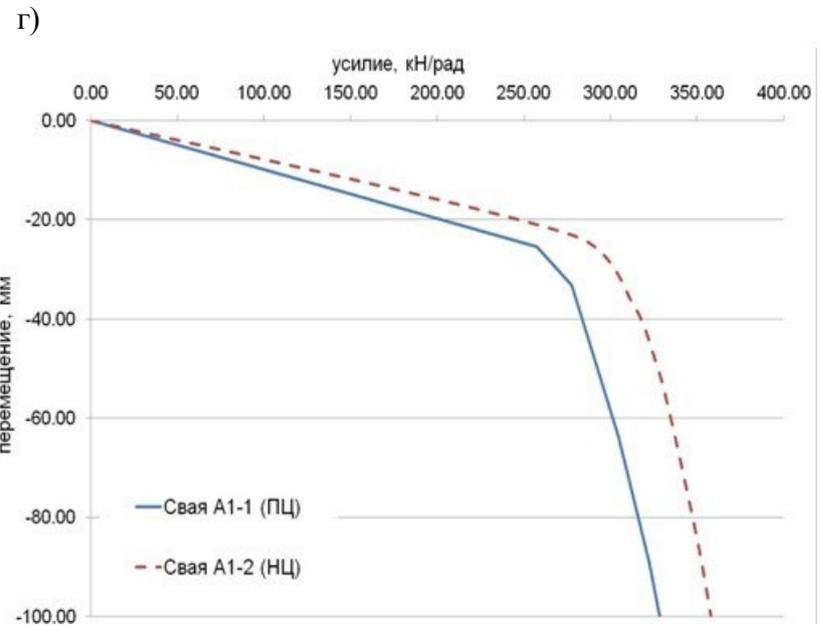
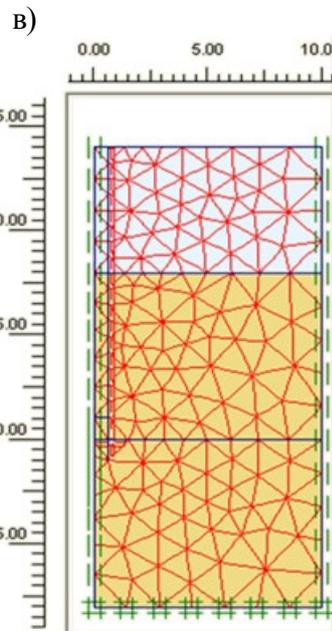
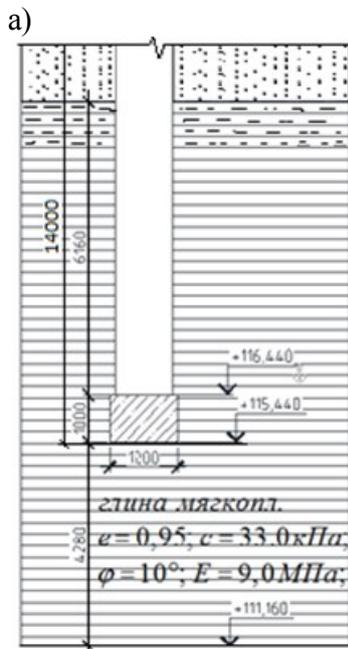
Введение. Ограниченность территорий для строительства в черте города, высокая стоимость вынуждают уплотнять существующую застройку, повышать этажность зданий, что сопровождается ростом нагрузок на фундаменты. Эти обстоятельства предъявляют повышенные требования к надежности работы оснований и фундаментов и не позволяют использовать фундаменты, возводимые в открытых котлованах, забивные и некоторые виды набивных свай без дополнительных мероприятий, даже при залегании у поверхности сравнительно прочных грунтов. Эффективным решением данной проблемы является применение буронабивных свай. Их применение в указанных условиях заставило искать пути повышения эффективности таких свай, одним из которых является применение бетонов и растворов на напрягающем цементе, показавших свою эффективность в скальных грунтах [1, 2]. Их применение обусловлено благоприятными условиями, создаваемыми грунтом для расширения и твердения бетона [3]. Расширение ствола сваи создаст дополнительное давление на грунт и снизит разуплотнение скважины, улучшит контакт сваи с грунтом и как следствие повысит несущую способность сваи [4-6]. Результаты проведенных исследований [4-6] таких свай позволили осуществить их опытное внедрение на строительных объектах Республики Беларусь.

Опыт применения бетонов и растворов на НЦ.

Впервые в Республике Беларусь бетон на НЦ применен для устройства буронабивных свай при реконструкции пешеходного висячего вантового моста через реку Буг в г. Бресте для двух промежуточных опор моста. Каждая промежуточная опора состоит из двух сталежелезобетонных буронабивных свай-опор $\varnothing 1220$ и длиной 22 м. Сваи заземлены в грунте на 14 м. Устройство свай выполнено под защитой неизвлекаемой обсадной трубы с применением бетона класса С20/25, W6, F200 с маркой по самонапряжению Sp0,6. Армирование свай выполнено пространственным каркасом с рабочей арматурой $8\varnothing 20$ S500. Обсадная труба и пространственный каркас не доведены до пяты сваи на 1 м для реализации деформаций расширения напрягающего бетона. Это обеспечило раннее включение нижнего торца сваи в работу, обеспечение плотного контакта бетона с грунтом на данном участке, что подтверждено сравнительным численным расчетом свай из бетонов и растворов на напрягающем цементе (далее НЦ) и портландцементе (далее ПЦ) на вдавливающую нагрузку ПК P1axis 2D согласно [7]. Статические испытания свай не выполнялись из-за большой трудоемкости и сложности работ. Инженерно-геологические условия площадки представлены в таблице 1, а на рисунке 1 представлен общий вид моста при монтаже, схема заземления сваи-опоры в грунте и результаты численного расчета.

Таблица 1 – Характеристики грунтов основания свай А1 в г. Бресте.

Наименование грунта	Коефф. пористости	Показатель текучести	Плотность, г/см ³	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, °	Модуль деформации, МПа
Песок средний средней прочности	0,65	-	1,66	3,3	34,0	21,3
Глина текучепластичная	0,95	0,79	1,95	84,3	12,0	9,0
Глина мягкопластичная	0,95	0,63	1,95	33	10,0	9,0



- а) Схемазашемления сваи-опоры моста в грунте;
 б) Общий вид моста при монтаже пролетного строения;
 в) Расчетная схема защемления сваи МКЭ в ПК «Plaxis 2D»;
 г) Результаты расчета сваи МКЭ из бетонов на НЦ и ПЦ;

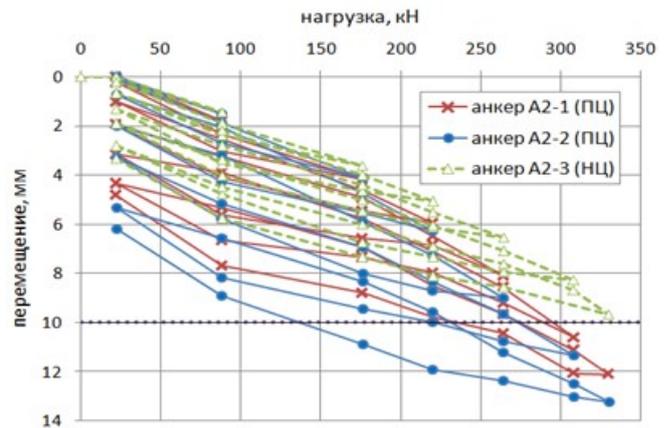
Рисунок 1– Опытное применение напрягающего бетона для устройства буронабивных свай промежуточных опор пешеходного висячего моста через реку Буг в г. Бресте

Одним из следующих объектов применения свай на напрягающем бетоне стало расширения производства ОАО «Белорусский автомобильный завод» по объекту «Создание мощностей по выпуску большегрузных карьерных самосвалов в г. Жодино. Подпорная стена». При устройстве анкерных буроинъекционных свай с использованием стальных трубчатых тяг «Титан» выполнено опытное внедрение напрягающего цемента для устройства двух таких свай и проведены сравнительные испытания анкерных свай из растворов на НЦ и ПЦ выдергивающей нагрузкой по методике П18-04 к СНБ 5.01.01-99 [8]. Основанием опытных анкерных свай А2 и А3 служили послойно-отсыпанные с уплотнением грунта из песка гравелистого прочного с характеристиками: $\rho = 1,82 \text{ г/см}^3$; $\rho_s = 2,65 \text{ г/см}^3$; $\phi = 37,0^\circ$; $c = 1,0 \text{ кПа}$. Результаты сравнительных испытаний приведены на рисунке 2.

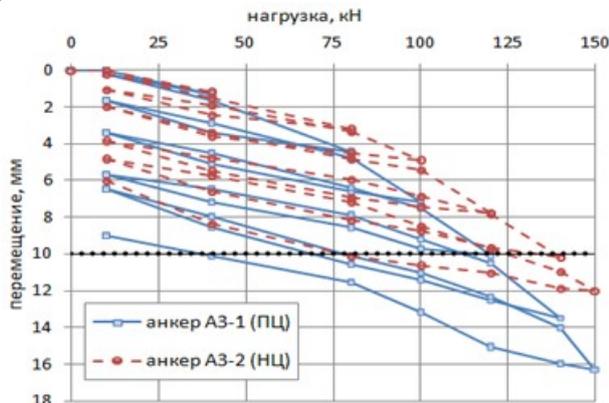
а)



б)



в)



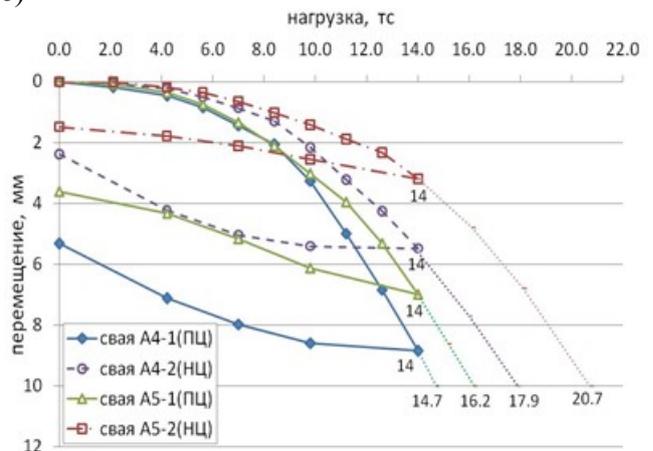
а) Испытание анкерной сваи статической нагрузкой;
 б) Результаты контрольных испытаний анкерных свай А2 (Титан 40/20; L=12,5м; ϕ 150мм) на НЦ и ПЦ;
 в) Результаты контрольных испытаний анкерных свай А3 (Титан 30/16; L=9,9м; ϕ 120мм) на НЦ и ПЦ
Рисунок 2 – Опытное применение напрягающего цемента для устройства анкерных свай со стальными тягами «Титан» для подпорной стенки

При устройстве буронабивных свай для фундаментов под оборудование постов секционирования на ст. Салтановка и ст. Потаповка при возведении объекта «Электрификация участков Гомель-Жлобин-Осиповичи и Жлобин-Калинковичи. 2-я очередь. Участок Гомель - Жлобин» было выполнено пробное устройство двух свай на НЦ с инъекционным уширением ствола сваи напрягающим цементом и проведены сравнительные испытания свай на ПЦ и НЦ статической выдерживающей нагрузкой по методике СНБ 2242-2012 [9]. Результаты сравнительных испытаний приведены на рисунке 3. Характеристики основания площадок представлены в таблицах 2, 3.

а)



б)



а) Контрольные испытания сваи на площадке;

б) Результаты контрольных испытаний свай из бетонов на НЦ и ПЦ;

Рисунок 3 – Опытное применение напрягающего раствора для устройства буронабивных свай (ϕ 250мм, L=6500мм) на ст. Салтановка и ст. Потаповка

Таблица 2– Характеристики грунтов основания свай А4 на ст. Салтановка

Наименование грунта	мощность слоя, м	Плотность, кН/м ³	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, °	Модуль деформации, МПа
Насыпной слой	0,9	-	-	-	-
Насыпной песок средней крупности	1,3	17,2	-	-	-
Песок средней крупности, средней прочности	4,8	17,4	1,0	36,0	33,0

Таблица 3– Характеристики грунтов основания свай А5 на ст. Потаповка

Наименование грунта	мощность слоя, м	Плотность, г/см ³	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, °	Модуль деформации, МПа
Песок пылеватый насыпной	0,7	1,69	2,0	30,0	-
Песок пылеватый средней прочности	1,0	1,75	4,0	29,0	21,0
Песок пылеватый прочный	1,3	1,98	6,5	35,0	55,0
Супесь моренная очень прочная	3,0	2,04	44,0	31,0	46,0

Приведенные выше результаты сравнительных испытаний буронабивных и буроналивных свай статической выдерживающей нагрузкой на объектах внедрения показали, что преднапряжение грунта по боковой поверхности сваи бетоном и раствором на напрягающем цементе снизило деформативность оснований свай на 20 – 50% по сравнению со сваями из бетона и раствора на портландцементе, повысило несущую способность свай по боковой поверхности на 14-28%, определённой при перемещении 10мм. Данные результаты свидетельствуют об эффективности применения напрягающего цемента.

Технико-экономическое обоснование применения бетонов и растворов на НЦ.

Технико-экономическую эффективность применения бетонов и растворов на напрягающем цементе можно обосновывать сравнением основных расходуемых материальных ресурсов (прямых затрат) в конкретных грунтовых условиях застройки. Ниже приведено сравнение экономической целесообразности применения бетонов и растворов на напрягающем цементе на объектах внедрения. Данные о количестве свай на объекте, геометрии, несущей способности занесены в таблицу 4. В данной таблице представлены так же абсолютные финансовые затраты по объектам внедрения для устройства буронабивных и буроналивных свай на портландцементе и напрягающем цементе при условии, что все сваи были бы изготовлены из этих материалов. Из таблицы видно, что прямые затраты по объектам внедрения на устройство сваи на напрягающем цементе больше на 6 - 9% по сравнению со сваями на основе портландцемента. Разница в стоимости достигается за счет дорогого напрягающего цемента по сравнению с портландцементом и большей общей величиной расхода цемента на сваи при одинаковом их объеме и схожей трудоемкости.

Для определения технико-экономической эффективности этих видов свай необходимо сравнивать не абсолютные, а относительные показатели. Сравнивая относительные характеристики свай из таблицы 4, можно сказать, что эффективность по относительной несущей способности свай на основе напрягающего цемента выше на 13 - 28% по сравнению со сваями на основе портландцемента. Для исчерпывающего определения технико-экономической эффективности свай сравним такую характеристику, как удельная стоимость сопротивления сваи. Для выдерживаемых свай на основе портландцемента стоимость общего удельного сопротивления по грунту в ценах 2006 года составила 4,2 - 6,4 тыс. руб./кН, а для свай на основе напрягающего цемента 3,6 - 5,5 тыс. руб./кН, для вдавливаемых свай 66,5 тыс. руб./кН и 63,9 тыс. руб./кН соответственно. Таким образом, стоимость обеспечения требуемого предельного сопротивления выдерживаемых свай на основе напрягающего цемента на 9-14% ниже, чем у свай на основе портландцемента, а у вдавливаемых свай на 4%, что объясняется отличиями в технологиях устройства и объеме напрягающего бетона.

Таблица 4 - Технико-экономические показатели буронабивных и буроинъекционных свай на объектах внедрения

Наименование показателя	Объект, свая, тип цемента									
	№1		№2				№3			
	A1(ПЦ)	A1(НЦ)	A2(ПЦ)	A2(НЦ)	A3(ПЦ)	A3(НЦ)	A4(ПЦ)	A4(НЦ)	A5(ПЦ)	A5(НЦ)
1. Количество свай на объекте	4		14		8		8		16	
2. Размер свай, мм	Ø1220×22000		Ø150×12500		Ø120×9900		Ø250×5600		Ø250×5600	
3. Объем свай, м ³	25,6		0,22		0,11		0,28		0,28	
4. Несущая способность свай при перемещении 40мм или 10мм, кН	1780	2020 (+13,4%)	280	330 (+17,8%)	115	140 (+21,7%)	147	179 (+21,7%)	162	207 (+27,8%)
5. Удельная несущая способность свай при перемещении 40мм или 10мм, кН/м ³	69,5	78,9 (+13,4%)	1273	1500 (+17,8%)	1045	1272 (+21,7%)	525	639 (+21,7%)	578	739 (+27,8%)
6. Прямые затраты, тыс. руб. в т.ч.	118356	129081,5 (+9,1%)	20560,9	21703,7 (+5,6%)	5874,6	6201,1 (+5,7%)	5449,3	5933,3 (+8,9%)	10898,5	11856,5 (+8,7%)
6.1 Основная заработная плата, тыс. руб.	2997	2997	913,5	913,5	261,0	261,0	742,3	742,3	1484,5	1484,5
6.2 Эксплуатация машин и механизмов, тыс. руб.	63032	63032	827,9	827,9	236,6	236,6	2799,5	2799,5	5598,9	5598,9
6.3 Материальные ресурсы, тыс. руб. в т.ч.	52327	63052,5	18819,4	19962,1	5377,0	5703,5	1907,5	2391,5	3815,1	4773,1
бетон (раствор) на ПЦ	8649,5	5968,2	---	---	---	---	191,5	157,6	387,7	317,2
инъекционный раствор на ПЦ	---	---	1003,8	692,6	286,8	197,9	51,3	35,4	102,7	70,9
расширяющаяся добавка (РД)	---	13406,8	---	1453,9	---	415,4	---	533,8	---	1061,1
7. Удельная стоимость несущей способности, тыс. руб. / кН	66,5	63,9 (-3,9%)	5,24	4,69 (-10,4%)	6,38	5,54 (-13,3%)	4,63	4,14 (-9,6%)	4,20	3,58 (-14,8%)

Примечание:

Объект №1 – Реконструкция вантового моста в районе пограничного знака № 1265 через реку Буг на остров Пограничный в г. Бресте.

Объект №2 – ОАО «Белорусский автомобильный завод». Создание мощностей по выпуску большегрузных карьерных самосвалов в г. Жодино. Подпорная стена.

Объект №3 – УП «Белорусская железная дорога. Электрификация участков Гомель-Жлобин-Осиповичи и Жлобин-Калинковичи. 2-я очередь. Участок Гомель – Жлобин.

Заключение.

Несмотря на единичные опытные результаты применения на строительных объектах бетонов и растворов на напрягающем цементе, практический опыт их внедрения в грунтовых условиях Республики Беларусь оказался эффективным и свидетельствует о целесообразности их дальнейшего применения. По результатам проведенных исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Применение бетонов и растворов на НЦ для буронабивных свай обеспечило плотный контакт свай с грунтом за счет его преднапряжения, что повысило сдвиговую осадку свай, привело к повышению сопротивлений грунта по боковой поверхности и под нижним торцом свай за счет раннего включения в работу.

2. Для свай на напрягающем цементе снизилась деформативность на 20 - 50% по сравнению со сваями из бетона и раствора на портландцементе, а несущая способность повысилась на 13 - 28%, определенная при перемещениях 10мм (выдергивание) и 40мм (вдавливание), несмотря на практически одинаковые площади поперечного сечения и площади боковой поверхности свай.

3. На основе выполненных исследований [4-6] и опытного внедрения напрягающий бетон и раствор рекомендуется применять для преднапряжения грунта в нижней части буронабивных свай свободных от армирования для повышения сопротивления грунта по боковой поверхности и раннего включения нижнего торца в работу, для устройства буроинъекционных свай с буровыми высокопрочными трубчатыми штангами «Титан» и «Атлант» и в буронабивных сваях с узким каркасом.

4. Техничко-экономическая эффективность по удельной несущей способности для свай на основе напрягающего цемента выше на 14-28% по сравнению со сваями на основе портландцементa, а удельная стоимость обеспечения требуемого предельного сопротивления свай на основе портландцементa на 4-14% выше, чем у свай на основе напрягающего цемента, что доказывает их эффективность и экономичность.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Особенности применения свай в Восточной Сибири / Ю.Н. Козаков [и др.] – Красноярск: Стройиздат, 1992. – 268 с.
2. Sheikh, S.A. Expansive cement concrete for drilled shafts / S.A. Sheikh, Y. Fu, M.W. O'Neill // ACI material journal. - 1993. - v. 91, - P. 237-245
3. Пойта, П. С. Эффективность применения напрягающих бетонов для изготовления свай в построечных условиях / П. С. Пойта, А. Н. Невейков // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы II междунар. науч.-практ. конференции/под. общ. ред В. И. Сенько – Гомель: БелГУТ, 2008. – С.251-252.
4. Невейков, А. Н. Эффективность применения напрягающих бетонов для изготовления буронабивных свай / А. Н. Невейков, П. С. Пойта // Вестник БрГТУ. – 2009. – №1: Строительство и архитектура – С. 32-36.
5. Невейков, А.Н. Напрягающий бетон и буронабивные сваи / А.Н. Невейков // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы IV междунар. науч.-практ. конференции / под общ. ред. В.И. Сенько – Гомель: БелГУТ, 2010. – С.252-253.
6. Невейков, А.Н. Экспериментальные исследования несущей способности буронабивных свай из напрягающего бетона / А.Н. Невейков // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Ровно: РДУ, 2012. – Випуск 23. - С. 598-607.
7. PLAXIS. Справочное руководство. Версия 8. – Санкт-Петербург: НИП-Информатика, 2004. – 182с.
8. П18-04 к СНБ 5.01.01-99. Проектирование и устройство буроинъекционных свай. Минстройархитектуры РБ. – Минск, 2002. – 43 с.
9. Грунты. Методы полевых испытаний сваями: СТБ 2242-2011. – Введ. 01.06.2012. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2012. – 34с.