

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Материалы 75-й студенческой
научно-технической конференции

07-15 мая 2019 г.

Минск
БНТУ
2019

УДК 620; 691

ББК 38.3

А 43

Редакционная коллегия:

Э. И. Батяновский – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технология строительства»;

М. Г. Боргницкая – старший преподаватель кафедры «Строительные материалы и технология строительства»

Рецензенты:

С. Н. Ковшар – канд. техн. наук, доцент, кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

Сборник содержит материалы 75-й студенческой научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительных материалов и технологии строительства». В издании освещены материалы пленарного заседания, исследующего проблемы производства и особенности эксплуатации бетона и других строительных материалов, технологии строительства.

Издание предназначено для научно-педагогических работников, студентов, магистрантов и аспирантов.

ISBN

© БНТУ 2019

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Адаменко В. С., Русин А. А.</i> Исследование акустической упругости бетона.....	4
<i>Апанасович Н. Г., Валькович В. П., Качановский И. Ю.</i> Теоретические аспекты эффективности диспергированной гранитной породы в цементном конструкционном бетоне.....	9
<i>Власова Т. А., Комиссарова Н. С., Ольхова Ю. А.</i> Опыт применения мультипликативного резонансного метода определения упругих свойств бетона компактных элементов конструкций.....	13
<i>Гладкая П. А., Черняк Д. А.</i> Особенности технологии «3D» бетонирования и оценки свойств бетонокомпозиционных смесей для ее реализации.....	18
<i>Головатая Е. В., Матусевич П. В., Никонович Т. А.</i> Инновационная технология пенобетона, модифицированного углеводородным наноматериалом и комплексными химическими добавками.....	21
<i>Нупрейчик М.О.</i> Влияние неточности позиционирования буронабивных свай на стоимость свайных ростверков.....	24

Исследование акустической упругости бетона

Адаменко В. С., Русин А. А.

Научный руководитель – Снежков Д. Ю., к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Эффект акустической упругости заключается в зависимости параметров распространения акустической волны или показателей акустической анизотропии испытуемого материала от напряжения (деформации). В основе эффекта акустической упругости лежит проявление нелинейных свойств областей бетона всех масштабных уровней локализации [1]. Это может быть изменение жесткости механических контактов структурных элементов бетона – кристаллогидратов между собой и зёрнами заполнителя. Это могут быть нелинейные эффекты трещиноватости, связанные с локальным изменением модуля упругости бетона. Это могут быть эффекты «схлопывания» трещин [2]. Эффектом просачивания фронта упругой волны через трещины можно объяснить увеличение скорости ультразвуковых колебаний, распространяющихся вдоль оси образца, при его осевом сжатии. На рис. 1 приведена зависимость скорости ультразвукового импульса с максимумом спектральной плотности на частоте 55 кГц от напряжения сжатия.

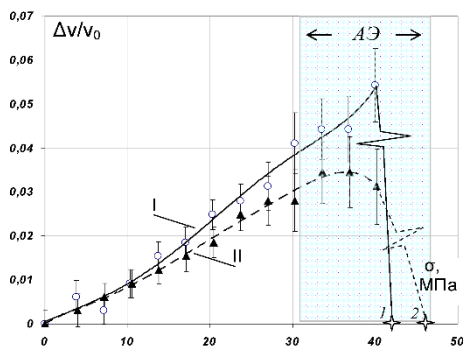


Рис. 1 Зависимость приращения скорости продольной ультразвуковой волны в образцах-призмах от статической осевой нагрузки: I – класс бетона С30/37; II – С35/45; (условия твердения нормальные, возраст бетона 370 сут.); 1, 2 – значения разрушающей нагрузки; АЭ – область интенсивной акустической эмиссии в образцах.

Акустические испытания производились в режиме прямого измерения времени распространения продольной подповерхностной волны ультразвукового импульса в образцах-призмах 100x100x400 мм поверхностным методом прозвучивания на базе 150 мм.

Эффект акустической упругости устойчиво наблюдается при нагрузках более 20% от разрушающей. В таблице 1 приведены максимальные значения коэффициентов акустической упругости для различных составов бетона, полученные экспериментально. В качестве параметра акустической упругости k_A использовано отношение

$$k_A = \frac{\Delta V_l}{V_l} \frac{1}{\sigma}, \quad (1)$$

где V_l – скорость распространения импульса подповерхностной продольной волны; ΔV_l – приращение скорости акустического импульса при осевой нагрузке σ .

Таблица 1 – Параметры акустоупругости бетона

№ состава	Класс по прочности	$f_{c,cube}$	Расход песка	Расход щебня	Расход цемента*, ПЦ-500	Параметр акуст. упругости** $\Delta v \cdot v^{-1} \cdot \sigma^{-1}$
		МПа	кг	кг	кг	10^{-9} Па^{-1}
1	C25/30	34,3	750	1100	445	$1,30 \pm 0,25$
2	C35/45	50,2	710	1000	600	$1,45 \pm 0,31$
3	C30/37	42,8	730	1050	540	$1,25 \pm 0,27$
4	C35/45	48,4	700	1030	600	$0,91 \pm 0,20$

*Вода на осадку конуса 13...15 см

** Контрольное напряжение $\sigma_c = 20 \text{ МПа}$

Из табл. 1 видно, что приращение скорости распространения акустического импульса при нагрузке 20 МПа лежит в пределах 1...1,5 %, при этом относительная погрешность в оценке k_A составляет ~20%. Следует заметить, что среднее квадратическое отклонение относительной вариации скорости, рассчитанное по формуле

$$s_{\Delta v^*} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\Delta V_l / V_i - (\Delta V_l / V)_{m(n)}]^2}{n-1}} \quad (2)$$

остается практически постоянным в диапазоне напряжений 0...0,7 f_c , следствием чего является возрастание относительной погрешности в оценке

коэффициента k_A по мере уменьшения напряжения в бетоне. Указанная погрешность при $\sigma = 0,1f_c$ составляет 50...70%.

Для сопоставления результатов испытаний бетона ниже приведены данные акустической упругости образцов каменной соли и ангидрита (минерала безводного гипса) – материалов структурно однородных (в сравнении с бетоном), но которым также присуща трещиноватость разного масштабного уровня [4]. На рис. 2 приведены зависимости скорости распространения ультразвукового импульса частотой около 500 кГц в коротких образцах-кернах минерала ангидрита.

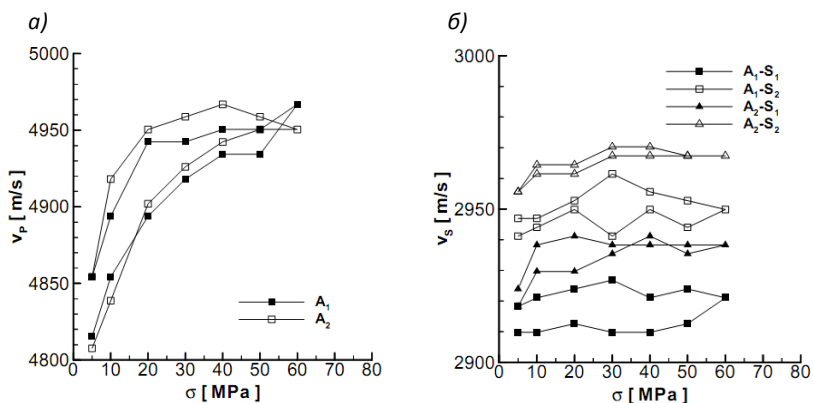


Рис. 2 - Зависимости скорости распространения акустических волн в образцах минерала ангидрита от напряжения при одноосном сжатии: а – продольной волны, б – поперечной [4]

Измерение скорости распространения импульса производилось в направлении сжатия образца. Максимальное значение показателя акустической упругости для продольных волн k_A , соответствующее начальному участку диаграммы, составило в среднем $1,4 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$. Вариация скорости распространения продольной волны составила 3%, при выраженной нелинейности её зависимости от напряжения сжатия. Характерным явилось слабое проявление эффекта акустической упругости для поперечных волн (см. рис. 2,б).

На рис. 3 приведены данные испытаний двух групп образцов-кернов каменной соли: группа *Berlin 1* – «свежие» образцы-керны, группа *Berlin 2* – образцы-керны выдержанные в нормальных условиях в течение года [4]. Показатель акустической упругости каменной соли лежит в пределах от $5 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$ (группа *Berlin 1*, начало диаграммы нагружения), до

$0,1..0,2 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$ – (группа *Berlin 2*, конечный участок диаграммы нагружения).

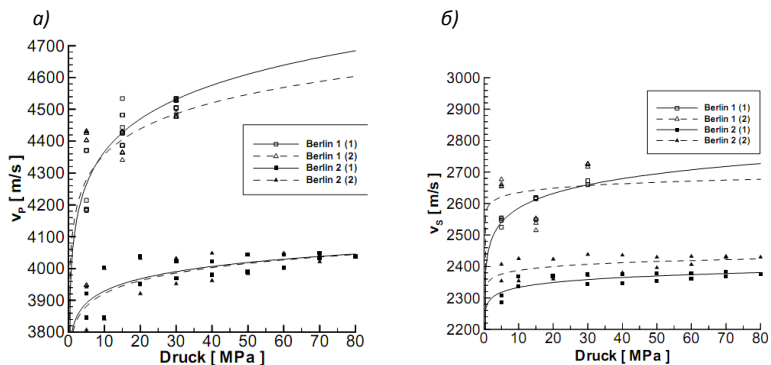


Рис. 3- Зависимости скорости распространения акустических волн в направлении сжатия в коротких образцах-кернах каменной соли от напряжения при одноосном сжатии: *a* – продольной волны, *б* – поперечной [4]

Деструктивные процессы в бетоне вследствие термических воздействия также могут выявляться показателем акустической анизотропии с использованием ультразвука. Важным его качеством является высокая чувствительность к анизотропии физико-механических параметров бетона при нагружении.

На рис. 4 приведены зависимости отношений скорости распространения импульса продольной волны в осевом и радиальном направлениях цилиндрического бетонного образца, подвергавшегося термическому воздействию [3].

Приведенные зависимости также косвенно свидетельствуют о снижении предела прочности бетона образцов после термического воздействия, превышающего 200°C

Полученные данные экспериментальных оценок показателя акустической упругости, наряду с его анизотропией, позволяют рассматривать его в качестве перспективного информационного параметра для контроля напряженно-деформированного состояния бетона непосредственно в конструкциях.

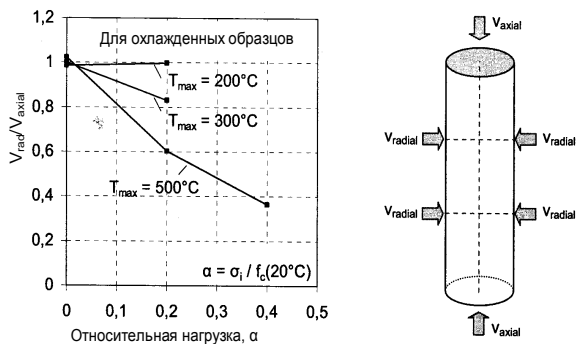


Рис. 4 Зависимость отношения скорости распространения ультразвукового импульса продольной волны в продольном и радиальном направлениях от относительной осевой нагрузки цилиндрического бетонного образца [3]

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитина Н.Е., Акустоупругость. Опыт практического применения / Н.Е Никитина // Н.Новгород, ТАЛИАМ, 2008, С 208
2. Solodov, I. Nonlinear ultrasonic NDT for early defect recognition and imaging / I. Solodov, N. Krohn, G. Busse // Institute of polymer technology, department of nondestructive testing (ikt-zfp), University of Stuttgart, Pfaffenwald Germany // [Electronic resource], 2010. - Mode of access: <http://www.ndt.net/article/wcndt00/>. - Date of access: 24.03.2010.
3. Schneider, U. Forschungsbereich für Baustofflehre, Werkstofftechnologie und Brandsicherheit / U. Schneider, S. Huismann // Schriftenreihe des Institut für Hochbau und Technologie, Technische Universität Wien, Heft 17, Auflage 2011, P. 240.
4. Zimmer, U. Quantitative Untersuchung zur Mikrorissigkeit aus akustischen Gesteinseigenschaften am Beispiel von Steinsalz und Anhydrit / U.Zimmer // Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Naturwissenschaften Dr. rer. nat./ Technischen Universität Berlin.2001 – 189. p

Теоретические аспекты эффективности диспергированной гранитной породы в цементном конструкционном бетоне

Апанасович Н. Г., Валькович В. П., Качановский И. Ю.
Научный руководитель – Смоляков А. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В статье приведены данные результатов исследований по использованию гранитного отсева – побочного продукта от дробления горной породы на крупный заполнитель для бетона, в качестве минеральной добавки в бетон, введенной в портландцемент на стадии помола. Показана возможность и целесообразность использования в цементе с минеральной добавкой отсева РУПП «Гранит» Брестской области.

В Беларуси отсутствуют сталеплавильные производства, побочный продукт которых в виде, например, доменных шлаков был бы ценным сырьем для получения цементов с минеральными добавками, как более дешевого вида вяжущего. В этой связи были осуществлены исследования с целью использования в таком качестве мелкого гранитного отсева РУПП «Гранит». Подтверждением эффективности результатов исследований (частично приведены в настоящей статье) явилось то, что ОАО «Кричевцементношифер» к настоящему времени выпустило более 100 тыс. тонн портландцемента (ПЦГ-М400; ПЦГ-М500), успешно реализованного в Беларуси и России.

ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА НА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ С МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ

Методика исследований. В процессе исследований совместный помол портландцементного клинкера (производства) ОАО "Кричевцементношифер"), гипсового камня и гранитного отсева осуществляли в лабораторной шаровой мельнице с различной дозировкой гранитного отсева (0; 10; 20 и 30 % от массы клинкера).

На полученных цементах изготавливали образцы бетона стандартизованного по ГОСТ 30459-96 состава при прочих равных условиях для оценки влияния количества добавки на его прочность. По завершении этих экспериментов остальные исследования осуществили на полученном помолем ПЦ Д0; ПЦ Д20 и, для сравнения, на цементе заводского производства (ОАО "Кричевцементношифер") марки ПЦ М500 Д0.

Во всех случаях эксперименты выполнены с использованием образцов бетона в виде кубов с ребром 100 мм (поправочный масштабный коэффи-

циент: $\alpha = 0,95$, учтен). Бетон уплотняли на лабораторной виброплощадке со стандартными параметрами вибрирования: амплитуда (A) $\sim 0,5$ мм; частота колебаний (f) ~ 50 Гц. Твердение бетона в двух вариантах: при нормально-влажностных условиях (температура: $t \sim 20 \pm 3^{\circ}\text{C}$; относительная влажность: $\phi \geq 90$ %) и при пропаривании по режиму: предварительная выдержка – 2 ч; подъем температуры до $80 \dots 85^{\circ}\text{C}$ – 3 ч; изотермическая выдержка – 6 ч; остывание образцов в камере – 4 ч; остывание образцов после распалубки – 4 ч. Испытания пропаренных образцов бетона проводили не позже 24 ч от момента их изготовления.

Каждое значение прочности бетона, это среднее значение (единичное значение) серии из 6-ти образцов. Внутрисерийный коэффициент вариации прочности составил: $V_m \sim 6 \dots 8$ %, при допускаемой его величине: $V_m \leq 13,5\%$, принимаемой для тяжелого бетона по ГОСТ 18105-86.

Увеличение дозировки миндобавки более 20% от МЦ очевидно приводит к снижению проектной прочности бетона, при прочих равных условиях. Этот отрицательный эффект связан, на наш взгляд, со следующими факторами.

Во-первых, введение значительного количества инертного по своей сути минерального наполнителя способствует снижению активности вяжущего.

Во-вторых, в большей мере проявляется эффект понижения качества сцепления цементного камня, содержащего большое количество инертного вещества, с заполнителями в бетоне.

В-третьих, возрастает величина истинного (по отношению к клинкерной части цемента) водоцементного отношения бетона, т.е. растет его пористость, что в совокупности приводит к превышению воздействия отрицательных факторов над положительно действующими на цементный камень и обеспечивающими рост его прочности.

В результате при дозировке добавки более 20% от МЦ прочность бетона существенно снижается и на свежемолотом цементе.

Вместе с тем, следует отметить, рост прочности образцов бетона (как нормально-влажностного твердения, так и пропаренных) в проектном возрасте (28 сут.) при дозировке миндобавки в 10% от МЦ, а во-вторых, небольшое увеличение относительной прочности пропаренного бетона. Последнее очевидно связано с общеизвестной тенденцией о большей эффективности цементов с миндобавками при твердении в среде с повышенной температурой.

Кинетика твердения бетона на цементе с минеральной добавкой. В процессе исследований отслеживали кинетику твердения, т.е. изменение прочности бетона во времени при твердении образцов в стандартных нормально-влажностных условиях и после пропаривания: непосредственно

после окончания тепловой обработки и после "дозревания" бетона в камере нормально-влажностного твердения до стандартного возраста в 28 сут.

Целью исследований было выявление влияния минеральной добавки в составе цемента на темп роста прочности бетона различных составов, консистенции смеси, и уровня проектной прочности.

Во всех приведенных экспериментальных данных результаты получены на практически одновременно подготовленных вяжущих: чистоклинкерном цементе и содержащем 10...20 % минеральной добавки. Марка вяжущего определяется степенью помола и процентным содержанием минеральной добавки в смешанном вяжущем.

Для получения подвижных бетонных смесей с осадкой конуса: ОК \geq 10 см (марок ПЗ и П5), в бетон вводили химическую добавку суперпластификатор "Стахемент-Ф Ж35" (Ст. - Ф Ж35; жидкость 35 % концентрации), характеризующуюся кроме пластифицирующего эффекта наличием в ней ускоряющего компонента.

Практически во всех случаях (при использовании жестких и пластичных бетонных смесей марок: П1; ПЗ и П5) образцы бетона приготовленного на цементе с содержанием добавки до 20%, обеспечили требуемую прочность, соответствующую заявленному классу при коэффициенте ее вариации $V_{ш} = 13,5\%$. В случае использования расчетного внутри серийного коэффициента вариации прочности бетона $V_{ш.р.} \sim 8\%$ уровень требуемой прочности бетона несколько превышает ее минимально необходимые значения.

Следует отметить примерно равный темп роста прочности бетона на цементе с минеральной добавкой в дозировке до 20% от массы цемента, в сравнении с образцами бетона на цементе без добавки, в пределах исследованного отрезка времени.

Проявляющаяся тенденция понижения этого параметра с введением 20% добавки в 1...3 сут. нормально-влажностного твердения к проектному возрасту (28 сут.) сохраняется, но не превышает 2...4%.

Прочность бетона при пропаривании. Оценку изменений прочности образцов бетона в зависимости от наличия и количества в цементе минеральной добавки в виде молотого гранитного отсева осуществляли после их пропаривания в лабораторной (ямной) камере, а также после последующей выдержки серий образцов до проектного 28 сут. возраста в камере нормально-влажностного твердения.

Целью исследований являлось не только выявление закономерностей влияния вещества миндобавки на темп роста прочности бетона в условиях прогрета ($t \sim 80...85^{\circ}\text{C}$), но и возможное ее влияние на изменение прочности бетона в дальнейшем (при благоприятных условиях твердения). Полученные экспериментальные данные на образцах пропаренного бетона

практически подтверждают результаты исследований и согласуются с экспериментальными данными, относящимися к прочности образцов бетона нормально-влажностного твердения аналогичных составов и классов.

Результаты экспериментов приведены для образцов после 3...4-х часового остывания; прочность "горячих" образцов была ниже в среднем на ~ 5...7%.

Важнейшим выводом является подтверждение возможности введения в цемент 20% добавки молотого гранитного отсева без снижения проектной прочности пропаренного бетона и без снижения прочности непосредственно после пропаривания, что важно для производства преднапряженных железобетонных изделий и конструкций.

Кроме этого, пропаренный бетон (при прочих равных условиях) значительно, но "недобирает" (примерно, до 3...5%) прочности к проектному возрасту, в сопоставлении с данными для образцов нормально-влажностного твердения. Фактически эти результаты подтверждают известное в технологии бетона явление, и здесь нет зависимости, связанной с наличием или отсутствием в цементе минеральной добавки.

Заключение. Установленные закономерности влияния минеральной добавки в портландцемент (бетон) на прочность бетона в сочетании с данными об их влиянии на эксплуатационные характеристики и свойства бетона свидетельствуют о возможности использования такого цемента в бетонах (растворах) общестроительного назначения без ограничений, в соответствии с общими правилами применения вяжущего с миндобавками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батяновский, Э.И. Свойства цемента и цементного камня с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева/ Э.И. Батяновский; А.А. Дрозд, А.В. Смоляков, // Строительная наука и техника -2009 -№1. – с.73-79.
2. Смоляков, А.В. Технологические свойства бетонных смесей и прочность бетона с добавкой в виде молотого гранитного отсева/ Э.И. Батяновский; А.А. Дрозд, А.В. Смоляков, // Строительная наука и техника -2009 - №1. –с.73-79.

Опыт применения мультипликативного резонансного метода определения упругих свойств бетона компактных элементов конструкций

Власова Т. А., Комиссарова Н. С., Ольхова Ю. А.
Научный руководитель – Снежков Д. Ю., к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Акустические методы испытаний бетонных и железобетонных конструкций основаны на зависимости параметров распространяющихся в них упругих волн как от интегральных упруго-прочностных показателей бетона – модуля упругости E_c и прочности на сжатие f_c , так и от наличия и локализации макродефектов в массиве конструкции, и от концентрации и характера структурных микродефектов. В сравнении со склерометрическими методами одним из сильных преимуществ акустических методов контроля является значительно бóльшая – на два, три порядка - пространственная протяженность захватываемой контролем области испытаний материала – бетона [2].

Физической основой резонансных методов испытаний является формирование стоячих волн в массиве образцов материалов и конструкций в целом. Наиболее простой вариант метода свободных колебаний – так называемый *Impact-Echo* метод (ИЕМ). ИЕМ приобрел популярность в Германии, Англии, Японии, Чехии и США [2]. Физическая основа ИЕМ заключается в зависимости *амплитудно-частотных* параметров акустического отклика на кратковременное ударное воздействие с небольшой энергией, от физико-механических параметров испытуемого материала – бетона. Основными косвенными параметрами метода являются длительность отклика и соотношения основных частотных составляющих спектра колебаний. Для визуализации акустического сигнала и его анализа, как правило, используют спектральные методы, и соответствующие компьютерные программы на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). В странах СНГ получил распространение аналог ИЕ метода – виброакустический метод, которым (если отвлечься от формально-юридической стороны вопроса) является и сам ИЕМ. Приборы диагностики свай «Спектр-1/2/3» являются упрощенными версиями приборов ИЕ метода. Упрощение определяется меньшим измерительным диапазоном – максимальная частота рабочего спектра прибора «Спектр-3.0» - 23 кГц. Поэтому основное использование приборов этого типа – контроль дефектности протяженных

изделий: свай, колонн и других, для контроля которых эффективны низкочастотные зондирующие сигналы.

Информация о размерах и физико-механических свойствах контролируемого образца содержится во временных и частотных показателях акустической волны. Поэтому для анализа акустических волн рассматриваемых методов широко используют спектральные методы, позволяющие рассматривать процесс не во временной области развития, а в частотной. В основе спектральных методов лежит преобразование Фурье (ПФ)

$$F(\omega) = \int f(t) \cdot \exp(-i\omega t) dt, \quad (1)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int F(\omega) \cdot \exp(-i\omega t) d\omega, \quad (2)$$

где $F(\omega)$ – преобразование Фурье (частотный спектр); $f(t)$ – исходный сигнал во временном представлении; ω – круговая частота.

Выражение (1) – прямое преобразование Фурье, выражение (2) – обратное преобразование. Математический смысл преобразования Фурье состоит в представлении сигнала $f(t)$ в виде бесконечной суммы синусоид и косинусоид. Обратное преобразование Фурье переводит спектральное отображение $F(\omega)$ в исходный сигнал $f(t)$. Для преобразования Фурье разработан эффективный алгоритм, получивший название быстрое преобразование Фурье (БПФ), реализуемый во многих программах математической обработки данных (Excel, MathCad и др.).

Возбуждение колебаний в бетоне обычно производится специальным ударным механизмом, либо вручную, - нанесением удара металлическим шариком малой массы по поверхности конструкции. Прием колебаний осуществляется пьезоэлектрическими или электродинамическими датчиками. При отсутствии дефекта, после ударного воздействия в зоне контроля образуется акустическое поле, основные составляющие которого имеют частоты, кратные частоте полуволновых колебаний, которая является опорной $f_{1,T}$ и связана со скоростью распространения продольной волны c и расстоянием T соотношением.

$$f_{1,T} = \frac{c}{2T}, \quad (3)$$

ИЕМ и виброакустический метод обеспечивает приемлемую точность контроля только так называемых протяженных конструкций и элементов – фундаментных блоков, плит, стен, свай, – у которых один размер как минимум в 5 раз меньше, либо в 5 раз больше остальных геометрических размеров. При контроле компактных конструкций, у которых два или все габариты одного порядка, акустическое поле становится многочастотным

за счет многократной трансформации различных типов волн при их отражении от граней образца. Соотношение частотных составляющих начинает зависеть от координат положения приемного сенсора и точки возбуждения колебаний. Данное обстоятельство значительно затрудняет контроль компактных изделий из бетона, делая его, в ряде случаев, невозможным. На рис. 1 и рис. 2 приведены частотные спектры акустического отклика в точках на двух смежных гранях бетонного блока габаритами 119 x 58 x 31 см, при ударном возбуждении одной и той же точки, полученные с использованием прибора «Спектр-3.0». Разметка точек установки акустического сенсора показана на рис. 3.

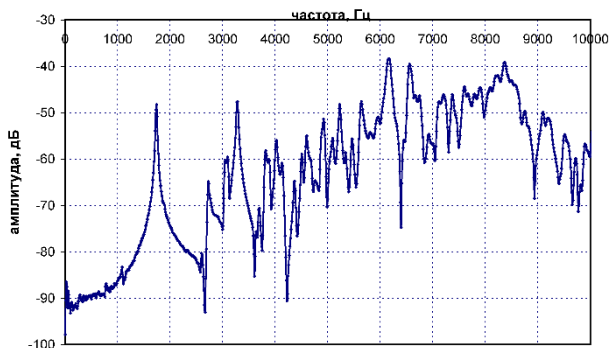


Рис. 1 Спектр акустического сигнала в точке 3; ударное возбуждение в точке 1

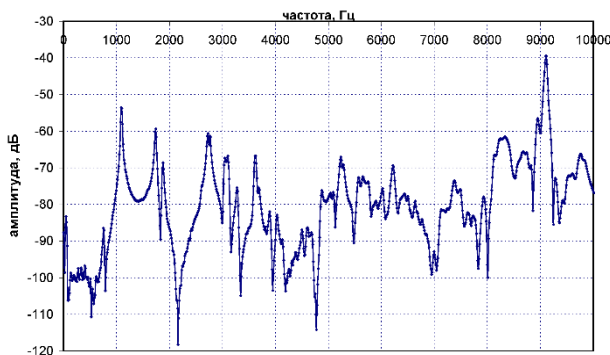


Рис. 2 Спектр акустического сигнала в точке 8; ударное возбуждение в точке 1

Положение ряда спектральных пиков на рис. 5 и 6 совпадают на оси частот, но их амплитуды могут отличаться на порядок и более.

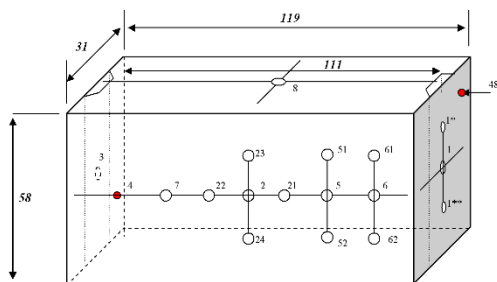


Рис. 3 Разметка точек контроля испытуемого бетонного образца

В этой связи, перспективным выглядит многоканальный мультипликативный метод [1]. Метод реализует многоканальный контроль с мультипликативной обработкой резонансных частотных характеристик. Предполагается, использование одновременно нескольких приемных преобразователей, либо последовательную установку одного преобразователя в N различных точках на поверхности объекта контроля.

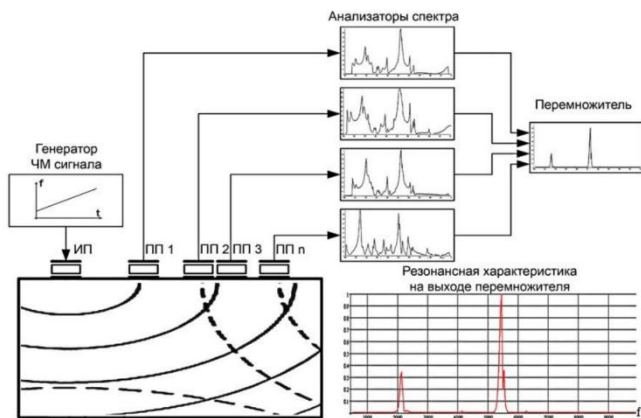


Рис. 4 Схема измерений частотной резонансной характеристики бетонного изделия резонансно-мультипликативным методом [1]

Указанный метод позволяет значительно упростить анализ частотного спектра контролируемой бетонной и железобетонной конструкции, снизив количество характеристических частот. Частотный спектр становится более «гладким» с меньшим количеством выраженных спектральных составляющих. На рис.5 приведены спектр полученный перемножением 9 спектров для точек 2, 21, 22, 23, 3, 5, 51, 52, 8 и спектр для точки 5. Устойчивые

составляющие сохраняются, составляющие, имеющие стохастический характер, особенно в высокочастотной области спектра, сглаживаются.

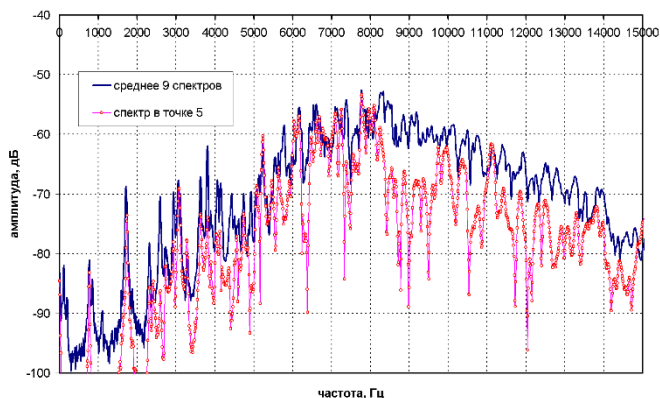


Рис. 5 Частотные спектры: мультипликативный и одинарный

Наиболее мощная спектральная составляющая имеет частоту 1705 Гц, что обусловлено стоячей продольной волной по длине образца. По формуле (1) рассчитываем скорость продольной волны c_l

$$c_l = f_{l,T} \cdot 2T = 1705 \cdot 2 \cdot 1.19 = 4058 \text{ м/с} , \quad (4)$$

Кроме того, этот метод позволяет, в сравнении с другими методами, получить более точную оценку скорости распространения акустического импульса в массиве бетона. Достоинством этого метода, как и ИЕМ, является возможность проводить контроль строительных конструкций из бетона толщиной до нескольких метров, но в отличие от ИЕМ многоканальный мультипликативный метод можно считать безэталонным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Качанов, В. К. Многоканальный мультипликативный метод акустического контроля крупногабаритных компактных строительных конструкций из бетона / В. К. Качанов, И. В. Соколов // Дефектоскопия. – 2008. - № 12. - С. 23-37.
2. Снежков, Д. Ю. Основы мониторинга возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций неразрушающими методами / Д. Ю. Снежков , С. Н. Леонович - Минск: БНТУ, 2016. - 330 с.

Особенности технологии «3D» бетонирования и оценки свойств бетонокомпозиционных смесей для ее реализации

Гладкая П. А., Черняк Д. А.

Научный руководитель – Самуйлов Ю. Д.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Современные инновационные 3D-технологии развиваются достаточно быстро и все больше внедряются в различные сферы деятельности человека. В последнее время значительное внимание уделяется такой разновидности 3D-технологий, как печать объектов на 3D-принтере, в которой используется метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели.

3D-печать бетоном представляет собой создание единичных и мелкосерийных бетонных и железобетонных изделий при помощи специализированных ЧПУ-станков (3D-принтеров) на основе файлов созданных в специализированных САПР программах. Создание изделия представляет послойное наложение бетонной смеси и раскладку элементов армирования.

3D-печать бетоном обладает рядом преимуществ для строительной отрасли, таких как высокая скорость создания единичного уникального изделия, малое количество персонала, необходимое для работы, снижение себестоимости дома и возможность использования любого состава бетона.

Для разработки состава сухой строительной смеси для строительного 3D-принтера и уточнения задачи исследования необходимо определиться с требованиями, которые должны предъявляться такому бетону как на стадии смеси, так и в затвердевшем состоянии. При этом можно условно выделить типовые требования и требования, обусловленные особенностями технологии (табл. 1).

Несомненно, строительный 3D-принтер предназначен для того, чтобы увеличить производительность работы, которая будет зависеть от скорости его печати, которая в свою очередь будет зависеть от скорости застывания бетона. Но нельзя бесконечно усиливать действие добавки-ускорителя, так как возникает опасность ухудшения качества изделия.

Для уменьшения оплывания можно уменьшить вес бетонной массы, вводя в смесь диатомитовые шарики, используя вместо кварцевого горный песок или молотый керамзит. Также можно уменьшить толщину наносимого слоя.

Для увеличения прочности бетона (как при изготовлении ваз) желательно использовать золу и произвести армирование смеси введением полиэфирной фибры, базальтового или стекловолокна. Для уменьшения потерь водной составляющей (поскольку изделие не изолируется от окружающей среды) необходимо в состав смеси вводить эфиры целлюлозы.

Таблица 1- Общие требования к составам мелкозернистого бетона для строительного 3D-принтера

Стадия бетонирования («печати»)	Общие требования	
	Типовые	Обусловленные особенностями технологии
Требования к смеси	1. Связность (сплошность)	1. Формоустойчивость 2. Способность полноценной гидратации в тонком слое. 3. Регулируемость сроков схватывания
Требования к затвердевшему бетону	1. Прочностные характеристики в проектном возрасте. 2. Деформационные характеристики (начальный модуль упругости, ползучесть) 3. Морозостойкость .	1. Регулируемость кинетики твердения 2. Обеспечение прочности сцепления между соседними слоями 3. Ограничение усадочных деформаций

На сегодня в мире создано достаточно большое количество технических решений 3D-принтеров, предназначенных для различных способов формования.

Известные способы формования элементов зданий и сооружений, при использовании технологии 3D-печати, условно можно разделить на три типа:

1. Послойное формование несъемной опалубки мелкозернистой фибробетонной смесью с различными модифицирующими добавками, с последующим заполнением полостей опалубки газо- или пенобетоном, либо отвердевающими пенополимерами.

2. Послойное формование несъемной опалубки отвердевающими пенополимерами с последующим заполнением полостей опалубки бетонной смесью.

3. Адресное разбрызгивание связующего вещества на послойно наращиваемый объем инертного мелкого заполнителя.

В связи с широким интересом к инновационной 3D-технологии в строительстве, в Республике Беларусь также начата ее разработка. В настоящее время в БНТУ ведутся работы по созданию вариативной имитационной модели инновационного процесса производства изделий из бетонокомпозитных материалов с использованием разомкнутых кинематических механизмов методом натурального прототипирования. Конечная цель данного проекта – это разработка оборудования и технологии устройства стен, перегородок и других конструктивных элементов зданий при помощи строительной 3D-печати.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аддитивная технология: описание, определение, особенности применения и отзывы. Аддитивные технологии в промышленности [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://fb.ru>
2. Обзорная статья по 3D строительным технологиям [Электронный ресурс], – Режим доступа: <https://geektimes.ru>
3. СТБ 1545-2005. Смеси бетонные. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 2005-07-01. – Мн: Минстройархитектуры, 2005.
4. Топ-6 строительных принтеров для 3D-печати домов [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://robotrends.ru>

Инновационная технология пенобетона, модифицированного углеводородным наноматериалом и комплексными химическими добавками

Головатая Е. В., Матусевич П. В., Никонович Т. А.
Научный руководитель – Мордич М. М.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Пенобетон — ячеистый бетон, имеющий пористую структуру за счёт замкнутых пор (пузырьков) по всему объёму, получаемый в результате твердения раствора, состоящего из цемента, песка, воды и пенообразователя.

В таких бетонах часть пор создается пенообразующими добавками. Прочность пенобетона зависит от объёмного веса, вида и свойств исходных материалов, а также от режимов тепловлажностной обработки (ТВО) и влажности бетона. Ячеистый бетон изготовлен на цементном вяжущем. Поэтому он продолжает набирать прочность ещё длительное время. Исследования конструкций из неавтоклавных ячеистых бетонов после 40-50 лет эксплуатации показали, что они не только пригодны для дальнейшей эксплуатации, но и увеличили свою прочность в 3-4 раза по сравнению с марочной. Введение комплексных добавок повышает прочность бетона, снижает водопотребность и усадку при высыхании, повышает водо- и морозостойкость, снижает равновесную влажность и эксплуатационную теплопроводность.

Для производства пенобетона необходим специализированный пенообразователь, способный увеличить свой изначальный объем в несколько раз. При этом пена должна соответствовать многим физико-химическим параметрам.

При производстве пенобетона производители сталкиваются медленным набором прочности, проседанием массива, несоответствие продукции физическим показателям. Чаще всего трудности возникают именно из-за использования некачественного пенообразователя или пеногенератора.

Приоритетным направлением в развитии науки и техники XXI века являются нанотехнологии. Их развитие на уровне атомов и молекул уже сейчас привело к успехам в сферах медицины, радиоэлектроники, машино- и автомобилестроения. В строительном материаловедении также проявлен интерес к нанотехнологиям, но, пока разработки ученых в этой области в меньшей степени применяются в промышленном масштабе, чем в других

сферах народного хозяйства. В настоящее время продолжают работы по получению новых строительных материалов с использованием нанотехнологий.

В результате исследований было выявлено, что введение добавки УНМ в виде водных дисперсий довольно эффективно. Стоит лишь определить наиболее рациональную разновидность добавки.

В исследованиях использовали УНМ трех видов: «УНМ-пленка»; «УНМ-суспензия»; «УНМ-ПХР», с одинаковой дозировкой, составляющей 0,05% массы цемента, которая принята по данным исследований с тяжелыми бетонами.

Полученные данные свидетельствуют, что наибольший эффект проявила добавка «УНМ-ПХР», обеспечившая прирост прочности пенобетона на сжатие до ~ 50,0% в возрасте 7 суток и ~ 40,0% к 28 суткам. Исходя из этих результатов, установили оптимальную дозировку данного вида УНМ. Для этого (при прочих равных условиях) варьировали расход «УНМ-ПХР» в диапазоне (0,01...0,1)% от массы цемента. Наибольший прирост прочности пенобетона на сжатие достигается при введении «УНМ-ПХР» в дозировке $\sim 0,025 \pm 0,005\%$ от массы цемента.

В данной работе были рассмотрены основные понятия и определения о пенобетонах, пенообразователях, производстве пенобетона с добавлением различных добавок, в том числе УНМ и комплексными химическими добавками. Рассмотрены положительные и отрицательные стороны введения тех или иных добавок. Изучены влияния добавок на различные свойства пенобетонов.

В результате проделанных исследований можно сделать выводы, что добавки в большинстве своем оказывают положительное влияние на свойства и структуру пенобетона. Но, как говорится, хорошего понемногу. Введение добавок в допустимых пределах, которые отображены в работе, благоприятно воздействуют на пенобетонную смесь, но если с ними «переборщить», то возможно ухудшить качество изготавливаемого продукта. Либо по превышению «допустимого порога» добавления никакого эффекта вообще не будет, что тоже плохо, т. к. ведет к перерасходу добавок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ружинский С. И., Портник А. А., Савиных А. В. Все о пенобетоне. Издание второе улучшенное и дополненное. Санкт-Петербург, Издательство ООО «Строй-Бетон», 2006
2. Морозов А.П. Пенобетоны и другие теплоизоляционные материалы. – Магнитогорск, 2008
3. Патент «Комплексная добавка для пенобетонной смеси» Сватовская Л.Б., Сычева А.М., Елисеева Н.Н

4. Рябчиков, П. В. Перспективы применения отечественных углеродных наноматериалов в технологии тяжелых и высокопрочных бетонов / П. В. Рябчиков, Э. И. Батяновский // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов Европейского союза в области строительства : сборник научно-технических статей (материалы научно-методического семинара), 22–23 мая 2013 г. В 2 ч. Ч. 2 / ред. колл.: В. Ф. Зверев [и др.]. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 159 - 172.

Влияние неточности позиционирования буронабивных свай на стоимость свайных ростверков

Нупрейчик М. О.

Научный руководитель – Шевко В. В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Общие положения

Ошибки при позиционировании буронабивных свай влекут за собой корректировку свайных ростверков в процессе производства строительных работ. В данной статье ставится задача оценить затраты по исправлению указанных выше ошибок.

Операционный контроль качества работ проводит ежедневно инженерно-технический работник, осуществляющий производство работ на объектах строительства и владеющий необходимыми техническими знаниями для его осуществления, в соответствии с технологией выполнения работ, с привлечением испытательного подразделения организации, осуществляющей работы по устройству свайных фундаментов, или другой организации, аккредитованного в системе аккредитации Республики Беларусь.

Контролируемые показатели фундаментов из буронабивных свай

Основные контролируемые параметры и виды контроля указаны в пунктах **6.2.2.1, 6.2.2.2, 6.2.2.3, 6.2.2.4, 6.2.2.5, 6.2.2.6, 6.2.2.7** СТБ 1164.0-2012 [1].

Конструктивные требования к свайным фундаментам

1. Минимальные размеры свай назначаются по расчету, учитывая требования по сопряжению свай с надземными конструкциями зданий или ростверком, к расположению арматуры в сечении сваи и к ее анкеровке.

2. Толщина защитного слоя бетона для арматуры должна соответствовать величинам, регламентируемым СНБ 5.03.01-02 [2] и составлять для свай не менее 50 мм.

3. Фундаменты из свай с уплотненным основанием при $b \leq 400$ мм следует проектировать со свесом ростверка, равным 50 мм.

В остальных случаях свес может отсутствовать, если обеспечивается симметричная передача нагрузок на сваю (нагрузка не выходит за пределы ядра сечения), сохраняется прочность кустового ростверка по усло-

вию продавливания угловой сваей, а ширина ленточного ростверка достаточна для опирания стен и соблюдения условий местного сжатия (смятия).

Исполнительная съёмка по свайному полю

Исполнительная геодезическая съёмка позволит проконтролировать правильность положения свай. Это очень важно проследить, так как сваи в дальнейшем станут основой фундамента, а, следовательно, и всего построенного сооружения. От правильности расположения свай зависит прочность и надёжность возведённого объекта недвижимости, и некачественное выполнение геодезических работ может в дальнейшем привести к негативным последствиям.

Согласно пункту 7.1 пособия П13-01 к СНБ 5.01.01-99 [3] отклонения размеров скважин и свай и положения их осей в плане от проектных должны соответствовать требованиям СТБ [1] и не должны превышать следующих величин, мм:

а) по горизонтальному смещению скважин в плане при монолитном ростверке ± 50 ;

б) по шагу скважин и свай при монолитном ростверке ± 50 .

Рассмотрим фрагмент исполнительной съёмки производственно-логистического комплекса в г. Сморгонь. Выделим два куста свай в количестве 6 штук каждый и проверим их на соответствие требований по отклонению.

Можно заметить (рис. 1), что данным требованиям соответствуют только сваи, с номерами: 199-202, 207 и 208, у остальных же превышения больше допустимых, и они не вписываются в проектные ростверки.

Для решения этой проблемы необходимо увеличивать ростверки.

Рассмотрим проектные ростверки и ростверки после изменений, для этого сравним их размеры в плане.

На рис. 2а приведены проектные размеры ростверков, а на рис. 2б размеры этого же ростверка, но уже после изменений. С рис. 2б и 2в аналогично.

Несложно заметить, что из-за отклонений при изготовлении буронабивных свай увеличиваются монолитные ростверки, что в свою очередь приводит к перерасходу бетона, а, следовательно, и к увеличению стоимости работ.

Определим перерасход бетона в м^3 и процентном соотношении. Для этого сравним объёмы в сметных расчётах для каждого ростверка в отдельности. Для ростверка на рисунке 1а перерасход бетона составил $0,57\text{м}^3$, а для рисунка 1б – $0,21\text{м}^3$. Чтобы определить процентное соотношение, разделим перерасходованный объём в м^3 на проектный объём бетона. И получим такие цифры:

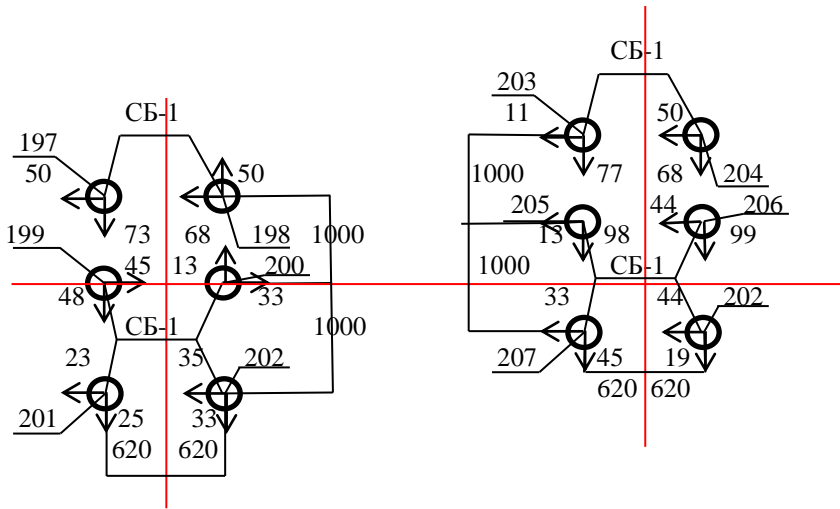


Рис.1. Исполнительная съёмка

- для ростверков на рис. 2а и 3а – 13.4%.
- для ростверков на рис. 2б и 3б – 5.4%.

На первый взгляд эти числа могут показаться несущественными, и то, что данная ошибка при изготовлении сван не несёт больших материальных потерь, но если рассматривать не один или два ростверка, а все сразу, то мы увидим, что это значительно увеличивает затраты как в сырьевом, так и денежном плане.

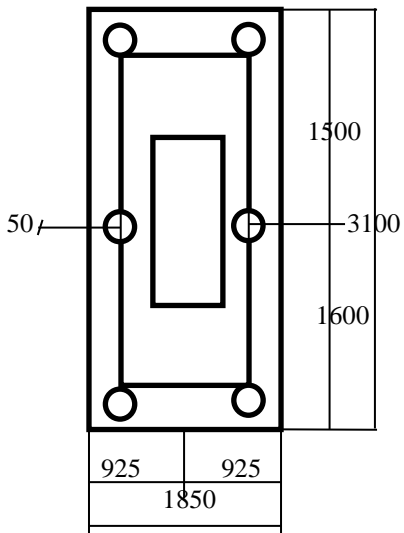


Рис.2а/Рис 3а

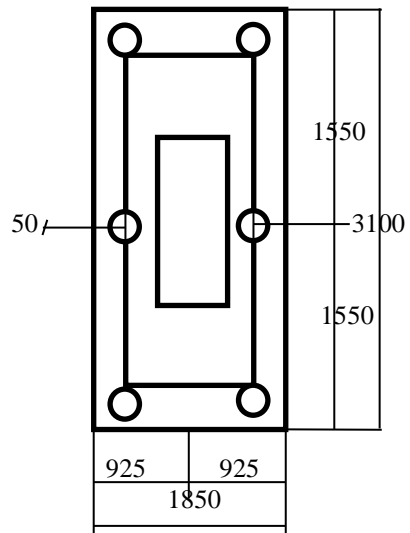
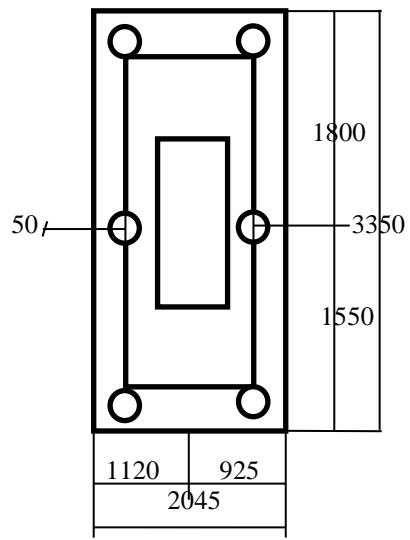
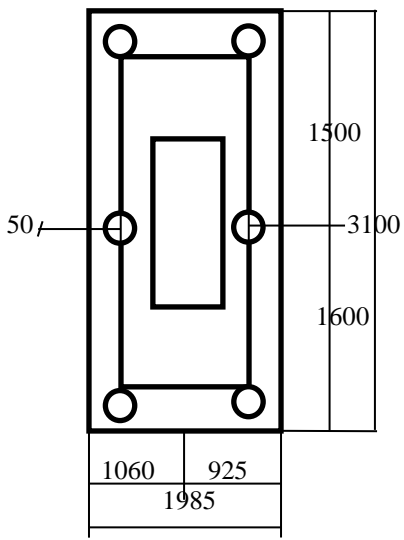


Рис.2б / Рис. 3б



Выводы:

-Ошибки при позиционировании свай ведут к увеличению свайных ростверков и росту стоимости фундаментов.

-Перерасход бетона по отдельным ростверкам составляет от 5% до 20% в зависимости от величины отклонения свай в плане.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Номенклатура контролируемых показателей качества: СТБ 1164.0-2012: – Введ. 01.09.2013. – Минск: Госстандарт, 2012. – 41 с.

2. 2.Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Введ. 01.01.2005. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2003. –139 с.

3. 3.Земляные сооружения. Основания фундаментов. Производство работ: СНБ 5.01.01-99: П16-03. – Введ. 01.01.2004. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2004. - 55с.