УДК 624.05:624.15

Я.А. Пронозин, М.А. Цыганкова, Д.В. Волосюк

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,
Тюмень, Россия

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ УСТРОЙСТВА ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ, ОБЪЕДИНЕННЫХ ПОЛОГИМИ ОБОЛОЧКАМИ

Рассмотрены технологические особенности устройства ленточных фундаментов, объединенных пологими оболочками с однослойным армированием, на примере строительства 17-этажного дома в г. Тюмени. Представлены конструктивное описание фундамента, технологическая последовательность его возведения, включающая земляные, подготовительные, арматурные, опалубочные, бетонные работы. В заключении статьи приведены расходы основных материалов, экономические показатели и данные геотехнического мониторинга.

Ключевые слова: ленточный фундамент, оболочка, технология строительства, арматурные работы, бетонные работы, опалубочные работы, организация строительства.

Ya.A. Pronozin, M.A. Tsygankova, D.V. Volosyuk

Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering,
Tyumen, Russian Federation

TECHNOLOGICAL ASPECTS AND ECONOMIC INDEXES OF CONSTRUCTION OF THE STRIP FOUNDATIONS COMBINED BY SHALLOW SHELL

The article discusses the technological features of construction of the strip foundations combined by shallow shell with single-layer reinforcement. Technological features are considered on example of the 17-th storied building construction. Authors describe the foundation construction and building manufacturing sequence including ground works, preliminary works, rebar placement, formwork and concrete work. In conclusion, paper presents material consumption, economic indexes and geotechnical monitoring statistics.

Keywords: strip foundation, shell, building method, rebar placement, concrete work, formwork, building organization.

Тюмень – стремительно развивающийся город с большими объемами многоэтажного строительства. Город имеет достаточно плотную

застройку, которая зачастую пересекается с большим количеством исторических памятников. Поэтому под строительство полноценных многоэтажных жилых комплексов, имеющих развитую инфраструктуру и отвечающих современным требованиям, отводятся незастроенные территории, расположенные, как правило, за пределами городского «кольца» (рис. 1).

Рис. 1. Ситуационная схема района строительства.
Расположение ГП-3...ГП-8

Один из таких жилых комплексов будет располагаться в границах улиц Губернская – Закалужская – Московский тракт в г. Тюмени. При проектировании первой очереди строительства, имеющей в составе шесть монолитно-каркасных 17-этажных домов (ГП-3...ГП-8), инженеры столкнулись с проблемой выбора типа фундамента под один из домов (ГП-8) ввиду сложных инженерно-геологических условий участка строительной площадки. Согласно инженерно-геологическим изысканиям участок имеет следующую последовательность напластований грунтов по глубине: **до 4 м** – суглинок тяжелый твердый ($\gamma_I = 20,5 \text{ кН/м}^3$, $E = 20,56 \text{ МПа}$, $\varphi_{II} = 19,38^\circ$, $c_{II} = 26,3 \text{ кПа}$); **4–4,5 м** – песок мелкий средней степени водонасыщения ($\gamma_I = 19 \text{ кН/м}^3$, $E = 27,03 \text{ МПа}$, $\varphi_{II} = 34,68^\circ$); **4,5–6,7 м** – супесь пластичная ($\gamma_I = 19,3 \text{ кН/м}^3$, $E = 15,2 \text{ МПа}$, $\varphi_{II} = 23,6^\circ$, $c_{II} = 12,8 \text{ кПа}$); **6,7–9,5 м** – песок мелкий насыщенный водой ($\gamma_I = 19,3 \text{ кН/м}^3$, $E = 33,32 \text{ МПа}$, $\varphi_{II} = 33,99^\circ$); **9,5–15 м** – суглинок оже-

лезненный текучепластичный ($\gamma_I = 17,8 \text{ кН/м}^3$, $E = 5,0 \text{ МПа}$, $\varphi_{II} = 15,0^\circ$, $c_{II} = 23,0 \text{ кПа}$); **15–30 м** – суглинок опесчаненный тугопластичный ($\gamma_I = 17,7 \text{ кН/м}^3$, $E = 7,58 \text{ МПа}$, $\varphi_{II} = 14,67^\circ$, $c_{II} = 34,0 \text{ кПа}$). На этом участке плотные грунты залегают на глубину до 9,5 м, а ниже идут напластования слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов на глубину более 30 м.

Генеральным проектировщиком, имеющим многолетний опыт проектирования и строительства в Тюменском регионе, пять соседних ГП были запроектированы на свайно-плитных (ГП-3, ГП-4) и свайных (ГП-5...ГП-7) фундаментах (рис. 2, а, б). Однако при инженерно-геологических условиях участка строительной площадки под ГП-8 плитные, свайные и свайно-плитные фундаменты либо имели сверхнормативные расчетные осадки 35–40 см¹, либо включали составные забивные или буровые сваи большой длины и, соответственно, высокой стоимости.

Рис. 2. Типы фундаментов под ГП-3...ГП-8: а – ГП-3, ГП-4 – плитно-свайные фундаменты; б – ГП-5...ГП-7 – свайные фундаменты; в – ГП-8 – плитно-оболочечный фундамент

В результате вариантного проектирования специалистами ТюмГАСУ был разработан проект, предусматривающий устройство экспериментальных ленточных фундаментов мелкого заложения, объединенных пологими оболочками под ГП-8² (рис. 2, в) [1]. Монолитно-каркасный дом состоит из двух секций, разделенных деформационным швом, с габаритными размерами в осях фундаментов 45,11×14,51 м. Жесткая плитная часть фундамента устраивается на участках располо-

¹ СНиП 2.02.01–83*. Основания зданий и сооружений / Госстрой России. М.: ФГУП ЦПП, 2004.

² Проект, выполненный НИС ТюмГАСУ. Шифр 81-12-08-KP1.

жения несущих стен, колонн и воспринимает нагрузку от здания. Оболочечная часть фундамента сформирована в пролетной части между участками нагружения и представлена пологими цилиндрическими железобетонными оболочками, обращенными выпуклостью вверх (рис. 3).

Рис. 3. План фундамента под одну из секций ГП-8

Толщина плитной части принята 1200 мм, толщина оболочек 200 мм. Армирование оболочек однослойное из арматуры А500С диаметром 22 мм. Для плитной части нижняя и верхняя основная рабочая арматура – А500С диаметрами 25 и 22 мм соответственно, поперечная арматура – А500С диаметром 12 мм в составе сборных каркасов. Для бетонирования принят тяжелый бетон В25, F200, W6.

Устройство фундамента под обе секции ГП-8 осуществлялось поточным методом без простоев бригад по фронтам работ. Процесс возведения каждой секции был условно разделен на пять этапов: земляные, подготовительные, арматурные, опалубочные и бетонные работы. Ниже приведено описание выполненных технологических процессов.

Земляные работы. Технологический процесс производства земляных работ включал планировку поверхности земли в пределах габарита строительной площадки при помощи бульдозера на базе трактора Т-170 мощностью 103 кВт, разработку грунта с погрузкой в транспортные средства, транспортировку части грунта, планировку дна и откосов. Профиль грунтового основания для разреза 1-1 представлен на рис. 4.

Рис. 4. Профиль грунтового основания (для разреза 1-1)

Проектом предусматривалось устройство земляного сооружения в два этапа. На первом этапе с использованием гусеничного экскаватора Hyundai R300LC-9SH, оборудованного ковшом обратной лопата емкостью $1,25 \text{ м}^3$, торцевой проходкой производилась отрывка котлована до отметки $-2,770$ и траншей до отметки $-3,800$ для устройства плитного фундамента (рис. 5, б). Технические характеристики экскаватора имеют следующие значения: продолжительность цикла 22 с , радиус копания до $16,7 \text{ м}$, кинематическая глубина копания до $7,4 \text{ м}$, угол поворота ковша 177 град.

а

б

Рис. 5. Земляные работы: а – формирование криволинейных поверхностей вручную; б – отрывка траншей

На втором этапе вручную, при помощи совковых и штыковых лопат, формировались криволинейные цилиндрические поверхности, выпуклые вверх, для устройства оболочечной части фундамента (рис. 5, а). Финальное формирование кривизны выполнялось по заранее подготовленным шаблонам из арматурных стержней. Доработка

грунта и зачистка основания траншей производилась при помощи мини-погрузчика Hyundai HSL 650-7. До начала подготовительных работ производилось уплотнение грунтового основания траншей.

Подготовительные работы. Под плитную часть фундамента по уплотненному грунтовому основанию траншей устраивалась щебеночная подготовка толщиной 150 мм из щебня фракции 20–40 (рис. 6, а). Щебеночная подготовка уплотнялась послойно электротрамбовками типа ИЭ-4502А.

а

б

Рис. 6. Подготовительные работы: а – устройство щебеночной подготовки; б – устройство подготовки из тощего бетона

После устройства щебеночной подготовки выполнялась подготовка из тощего бетона класса В7,5 для обеспечения стабильного состояния поверхности грунтового основания и блокирования фильтрации цементного молока из бетона при его укладке.

Подготовку из тощего бетона в траншеях по уплотненному щебеночному основанию выполняли толщиной 50 мм, по криволинейному грунтовому основанию ненарушенной структуры – толщиной 70 мм (рис. 6, б).

В первую очередь тощий бетон укладывался по криволинейной поверхности оболочки, оставляя плитную часть для прохода бетонщиков и для выставления опалубочных досок. Бетонную смесь подвижностью 0–2 см укладывали по поверхности оболочки, контролируя толщину по маякам, разравнивали гребками и уплотняли виброрейкой.

Необходимо отметить, что устанавливаемая на данном этапе опалубка из березовой фанеры марки ФСФ толщиной 9 мм не демонтиро-

валась, а использовалась для последующего бетонирования всего фундамента. Вдоль цифровых осей с торцов оболочек опалубка из фанеры ФСФ выполнялась на всю высоту фундамента для формирования вертикальных поверхностей плитной части и раскреплялась между собой. Таким образом, фанерная опалубка по периметру грунтовых профилей выполняла две функции: использовалась для устройства бетонной подготовки и служила разделителем между грунтовыми профилями и вертикальными поверхностями плиты.

Арматурные работы. Армирование оболочек производилось криволинейными сварными арматурными сетками, изготовленными в построечных условиях (рис. 7, 8, а). Геометрические размеры изготовленных арматурщиками 3-го разряда криволинейных стержней находились в рамках допускаемых проектных отклонений, равных 5 %. Сетки укладывались в оболочечные части фундамента с соблюдением защитного слоя бетона по верху и низу оболочки.

Рис. 7. Схема армирования оболочки (для разреза 1-1)

Плитная часть фундамента армировалась отдельными стержнями и пространственными каркасами в следующей последовательности:

1. С учетом защитного слоя бетона укладывались стержни нижней рабочей арматуры. Стержни соединялись вязальной проволокой.
2. Устанавливались анкера А1, необходимые для соединения арматурных сеток оболочечного фундамента между собой и для увязки данной сетки с арматурным пространственным каркасом плитного фундамента (рис. 8, б). Анкер А1 приваривался к криволинейным стержням арматурной сетки оболочки и к рабочим стержням нижней

сетки плитного фундамента. Параллельно на нижнюю рабочую арматуру плитного фундамента устанавливались пространственные каркасы, выполняющие две основные функции: формирование поперечного армирования и обеспечение необходимого расстояния между верхней и нижней рабочей арматурой.

3. На каркасы устанавливались стержни верхней рабочей арматуры плитной части фундамента. Стержни соединялись с помощью вязальной проволоки.

Рис. 8. Арматурные работы: *а* – криволинейные сетки оболочечной части; *б* – сопряжение плитной и оболочечной частей при помощи анкеров А1

В процессе производства работ по установке в проектное положение армирования оболочечной части выяснилась нерациональность использования анкеров А1. В данном случае конструктивно правильным решением будет прямая анкеровка единого криволинейного стержня в теле бетона плитной части. При таком подходе утрачивается необходимость в сварных швах для устройства стыка сетки и анкера, снижается расход стали, трудоемкость и повышается качество выполняемых работ.

Опалубочные работы. По периметру фундамента использовалась сборная дощатая опалубка, собираемая на строительной площадке. По внутренним граням плитной части вдоль оболочек устанавливалась опалубка из ламинированной влагостойкой фанеры, раскрепляемая дополнительными арматурными стержнями. Особенностью установки такой опалубки является недопущение ее опирания на анкера А1 и криволинейные стержни сеток оболочек (рис. 9).

а

б

в

Рис. 9. Опалубочные работы: а – дощатая опалубка по периметру плиты; б, в – опалубка по периметру оболочечной части

Бетонные работы. Бетонирование фундамента производилось при помощи автобетононасоса Putzmeister M42-5 с диаметром бетоновода, равным 125 мм. В первую очередь бетонировались оболочки, аналогично устройству бетонной подготовки, а затем плитная часть. Бетонная смесь в оболочечную часть укладывалась на всю толщину оболочки, равную 20 см. Для выдерживания данной толщины предусматривались маяки в виде арматурных отгибов, установленные на криволинейные стержни оболочек. Данные маяки служили также направляющими для движения виброрейки при заглаживании бетонной поверхности. Бетонная смесь в плитную часть укладывалась слоями толщиной 30–40 см (рис. 10, а, б). Уплотнение бетонной смеси производилось глубинными вибраторами.

Бетонирование фундаментов и набор прочности бетона происходили в летний и осенний периоды при среднесуточных температурах воздуха $+8...+22$ °С, поэтому не требовался дополнительный тепловой уход и обильное увлажнение бетонной смеси. Конструкции оболочек с целью сохранения в них влаги необходимо было покрыть пленкообразующими составами или закрыть полиэтиленовой пленкой. Помимо увлажнения свежесуложенный бетон защищался от размыва дождем, выветривания, сотрясений и деформаций.

а

б

Рис. 10. Бетонные работы: *а, б* – бетонирование оболочечной и плитной частей соответственно

Материально-экономические показатели. Исходя из рабочей документации на фундаменты домов ГП-3...ГП-8³, проекта производства земляных работ и работ по устройству ленточных фундаментов объединенных пологими оболочками по ГП-8 были определены объемы материалов для основных видов работ (табл. 1). К основным работам, определенным авторами, относились: а) земляные работы, включающие планировку поверхности земли, разработку грунта экскаваторами, доработку грунта траншей и котлованов вручную и при помощи мини-погрузчиков, уплотнение грунта пневматическими электротрамбовками; б) погружение дизель-молотом копровой установки железобетонных свай, «срубка голов» свай; в) подготовительные работы, включающие устройство и уплотнение щебеночной подготовки, устройство бетонной подготовки; г) устройство фундаментов, включающее арматурные, опалубочные и бетонные работы.

³ Проект, выполненный НИС ТюмГАСУ. Шифр 81-12-08-КР1.

Таблица 1

Расходы материалов на устройство фундаментов двух секций ГП-3...ГП-8

Вид выполняемых работ	ГП-3	ГП-4	ГП-5	ГП-6	ГП-7	ГП-8
	Плитно-свайный		Свайный			Ленточный объединенный оболочками
Земляные работы, м ³	2107			2490	2300	3956
Доработка грунта, м ³	188					191,1
Забивка свай, м ³	265,3	274	559,4		571,3	–
Срубка голов свай, шт.	351	359	1034		1056	–
Подготовка щебеночная, м ³	293		114,4			149,2
Подготовка из тощего бетона, м ³	146,5		–	–	–	88,4
Опалубка, м ²	236		1445		1475	580
Бетон тяжелый, м ³	1294	1283	595		631	1275
Арматура, кг	52 620	51 155	19 838	19 838	18 312	104 234

Анализируя данные по фундаменту под ГП-8, приведенные в табл. 1, можно заметить, что весьма значительным является расход арматуры. Во-первых, необходимо отметить, что армирование, заложенное в проекте, больше армирования, требуемого по расчету. Такой запас обусловлен фактором «экспериментальности» конструкции фундамента. Во-вторых, использование прямой анкеровки криволинейных стержней оболочек без использования анкеров А1 позволило бы сэкономить 5922 кг арматуры класса А500С.

С использованием рассчитанных объемов работ в программном комплексе «ГРАНД-Смета» версии 5.5 на каждый фундамент по ГП3...ГП-8 были составлены локальные сметные расчеты на общестроительные работы в ценах 3-го квартала 2013 г. Данные сметных расчетов приведены в табл. 2, на их основе для большей наглядности построены гистограммы (рис. 11).

Таблица 2

Сметные стоимость и трудозатраты на устройство фундаментов ГП-3...ГП-8

Показатель	Фундаменты					
	ГП-3	ГП-4	ГП-5	ГП-6	ГП-7	ГП-8
Трудозатраты основных рабочих, чел.-ч	5693,04	5712,6	6761,51	6763,7	6675,93	6579,64
Трудозатраты механизаторов, чел.-ч	1352,32	1371,77	2141,46	2147,33	2132,43	585,16
Общие трудозатраты, чел.-ч	7045,36	7084,37	8902,97	8911,03	8808,36	7164,80
Стоимость, тыс. руб.	14 281,95	14 033,42	13 846,30	13 813,89	13 874,84	13 360,01

Рис. 11. Гистограммы сметной стоимости и трудоемкости на возведение фундаментов по ГП-3...ГП-8 (по данным табл. 2): *а* – затраты труда основных рабочих, чел.-ч; *б* – затраты труда механизаторов, чел.-ч; *в* – общие затраты труда, чел.-ч; *г* – сметная стоимость, тыс. руб.

При устройстве фундаментов секций ГП-5...ГП-8 на каждом из них было задействовано одинаковое количество рабочих строителей [2]. При этом фундамент секции ГП-8 был возведен за 26 дней, из них около 5 дней было затрачено на устройство стыков арматурных сеток оболочечной части с анкерами А1 (см. рис. 7). Свайные фундаменты секций ГП-5...ГП-7 были возведены за 30 дней с учетом забивки свай. Сходимость фактической и сметной трудоемкостей по ГП-5...ГП-8 подтверждается гистограммой, приведенной на рис. 11, *а*.

Анализируя гистограмму, представленную на рис. 11, *б*, необходимо отметить, что высокие трудозатраты механизаторов по ГП-3...ГП-7 связаны с погружением большого количества свай и последующей вырубкой бетона из арматурного каркаса – «срубка голов» свай. Аналогич-

ные трудозатраты для ГП-8 отсутствуют. Существующие трудозатраты механизаторов по ГП-8 основаны на механизированном производстве земляных работ и устройстве самих фундаментов. Исходя из этого общие затраты труда (рис. 11, в) на устройство плитно-свайных фундаментов оказываются близки общим затратам труда на устройство фундаментов по ГП-8.

Гистограмма сметной стоимости (рис. 11, г) наглядно показывает, что ленточный фундамент, объединенный пологими оболочками, по ГП-8, возведенный на участке со сложными инженерно-геологическими условиями, оказывается дешевле, чем свайные и плитно-свайные фундаменты соседних ГП-3...ГП-7, возведенных на участках с лучшими грунтовыми условиями.

Заключение. В ходе производства работ по устройству ленточных фундаментов, объединенных пологими оболочками, для ГП-8 осуществлялся авторский надзор, все работы выполнялись в соответствии с проектом. Сложность конструкции и процесса возведения нового типа фундамента фактически является обманчивой. При содействии генподрядчика и проектировщиков был разработан проект производства земляных работ и работ по устройству конструкции фундамента. К «нестандартному» набору работ по возведению этого фундамента можно отнести формирование криволинейных грунтовых профилей и бетонирование криволинейных поверхностей оболочек.

Затрагивая экономическую часть описанного проекта, следует отметить, что в целом представляется возможным снизить расход арматуры до 20 % – за счет оптимизации конструктивных решений и снижения фактического армирования до его расчетных значений; расход бетона до 15 % – за счет уменьшения высоты сечения плитной части до 1,0 м; уменьшить конечную сметную стоимость фундамента до 20 %.

В период начала марта 2014 г. на основание передается 100 % нормативной нагрузки; возведен каркас здания и самонесущие стены, перегородки, проведены инженерные коммуникации, завершены отделочные работы; идет подготовка к сдаче объекта. Сотрудниками ТюмГАСУ регулярно ведется геотехнический мониторинг. Величина средней осадки здания составляет 40,9 мм, относительная разность осадок $\Delta s/L = 0,0004$. В ближайшее время планируется сдача объекта в эксплуатацию, в течение двух лет после которой будет проводиться геотехнический мониторинг.

Библиографический список

1. Тер-Мартirosян З.Г., Пронозин Я.А., Степанов М.А. Обоснование использования свайно-оболочечных фундаментов с предварительно напряженным грунтовым основанием Основания, фундаменты, механика грунтов». Сер.: Механика грунтов. – 2012. – № 4. – С. 2–6.
2. Цыганкова М.А., Порошин О.С. Разработка технически обоснованных норм времени расчетно-исследовательским методом производства при устройстве фундаментов-оболочек // Сб. материалов XII науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и соискателей ТюмГАСУ. – Тюмень: РИО ТюмГАСУ, 2013. – С. 93–99.

References

1. Ter-Martirosyan Z.G., Pronozin Ya.A., Stepanov M.A. Obosnovanie ispolzovaniya svajno-obolocheknykh fundamentov s predvaritelno napryazhennym gruntovym osnovaniem [Feasibility of pile-shell foundations with prestressed soil beds]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. Seriya: Mekhanika gruntov*, 2012, no. 4, pp. 2-6.
2. Tsygankova M.A., Poroshin O.S. Razrabotka tekhnicheski obosnovannykh norm vremeni raschetno-issledovatel'skim metodom proizvodstva pri ustrojstve fundamentov-obolochek [Development of technically based time standards by design - research method of production when constructing shell footing]. *Sbornik materialov XII nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i soiskatelej Tyumenskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. Tyumen, 2013, pp. 93-99.

Об авторах

Пронозин Яков Александрович (Тюмень, Россия) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительного производства, оснований и фундаментов» Тюменского государственного архитектурно-строительного университета; e-mail: pronozin@tgasu.ru

Цыганкова Мария Анатольевна (Тюмень, Россия) – ассистент кафедры «Строительного производства, оснований и фундаментов» Тюменского государственного архитектурно-строительного университета; e-mail: tsigankova_ma@mail.ru

Волосюк Денис Викторович (Тюмень, Россия) – инженер Тюменского государственного архитектурно-строительного университета; e-mail: volosyuk_dv@tgasu.ru

About the authors

Pronozin Yakov Aleksandrovich (Tyumen, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Building production, bases and foundation, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering; e-mail: pronozin@tgasu.ru

Tsygankova Mariya Anatolevna (Tyumen, Russian Federation) – Assistant Lecturer, Department of Building production, bases and foundation, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering; e-mail: tsigankova_ma@mail.ru

Volosyuk Denis Viktorovich (Vladimir, Russian Federation) – Engineer, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering; e-mail: volosyuk_dv@tgasu.ru

Получено 01.04.2014