

Эффективная инновационная технология возведения монолитной фундаментной плиты

И.М. Гаранжа¹, А.В. Танасогло², С.А. Фоменко²

¹Национальный исследовательский московский государственный строительный университет

²Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Макеевка, Донецкая Народная Республика

Аннотация: Монолитная плита – это самый надежный тип фундамента. Конструкция выбирается в том случае, если будущее здание или сооружение будет стоять на участке со сложным грунтом. Рассмотрены три варианта организационно-технологических решений – ребристая фундаментная плита, сплошная фундаментная плита и фундаментная плита коробчатого сечения. Для каждой технологии рассматривается два варианта армирования – стальной и стеклопластиковой арматурой. Анализ существующих технологий устройства монолитной фундаментной плиты, проведенный в первом разделе данной работы показал, что использование этих технологий затрудняется рядом факторов, связанных с конструктивными и технологическими особенностями возводимого объекта. Выбор рациональной технологии устройства фундаментной плиты выполняется путем оценки влияния организационных, технологических и конструктивных факторов. По результатам сравнительного анализа методов устройства фундаментной плиты выявлено, что наиболее рациональной по критерию трудоемкости и стоимости для рассматриваемой конструкции железобетонной плиты 15,6x544 м, является технология № 1 - ребристая фундаментная плита с использованием опалубки МСК и армированием стеклопластиковой арматурой. Анализ полученных зависимостей и расчет коэффициентов показали, что факторы, влияющие на трудоемкость устройства монолитной фундаментной плиты, по степени значимости можно расположить в следующей последовательности: 1) конструктивные характеристики (наличие ребер, сплошная плита или наличие пустот); 2) толщина фундаментной плиты; 3) вид арматуры, применяемый для армирования фундаментной плиты; 4) площадь сооружаемой плиты.

Ключевые слова: монолитная фундаментная плита, стальная и стеклопластиковая арматура, факторный анализ, трудоемкость и стоимость возведения, производство работ.

Введение. Актуальность темы

В настоящее время на рынке строительных услуг возведение многоэтажных зданий и зданий повышенной этажности с использованием монолитного железобетона получило широчайшее распространение [1,2] ввиду превалирующих физических и механических свойств, а также экономической составляющей данного материала в сравнении с возможными аналогами, представленными рынком услуг.

Монолитная плита – это самый надежный тип фундамента. Конструкция выбирается в том случае, если будущее здание или сооружение будет стоять на участке со сложным грунтом [3].

Учитывая тот факт, что стоимость возведения фундаментных плит увеличивается за счет большого расхода средств на бетон и арматуру, поиск оптимальных решений данного вопроса остается актуальным. Композитная арматура является альтернативным предложением применения стальному прокату [4, 5], а современные виды опалубочных систем играют одну из ведущих ролей в снижении материальных и энергетических ресурсов без дополнительных капиталовложений путем организационно - технологических приемов и конструктивных решений, и методов проведения монолитных работ [6-8].

В современном строительстве все большую популярность приобретают фундаменты, выполненные из монолитного железобетона, кессонного и ребристого типа. Благодаря своим технологическим особенностям, монолитные фундаментные плиты кессонного типа более устойчивы к воздействию техногенных и других неблагоприятных факторов окружающей среды, более сейсмоустойчивы. И, как следствие, более долговечны [9, 10].

Исследования в области совершенствования технологических процессов возведения монолитных конструкций в строительстве с применением различных армирующих элементов также являются достаточно современной проблемой [11, 12].

В связи с вышесказанным, целью исследования является разработка эффективных технологических решений при возведении монолитной фундаментной плиты с применением оптимальных методов производства работ.

Задачи исследования:

- анализ методов возведения монолитных железобетонных фундаментных плит;
- обоснование выбора применяемых технологий устройства, с учетом конструктивных особенностей возводимого объекта и применяемых материалов;
- разработка и исследование регрессионных моделей трудоемкости процесса возведения монолитного фундамента; обоснование выбора применяемых технологий устройства, с учетом конструктивных особенностей возводимого объекта и применяемых материалов.

Материалы и методы исследования

В основе исследования лежит системно-структурный анализ для обоснования и выбора факторов, теория вероятностей и математической статистики при обработке экспериментальных данных, статистического моделирования для формирования многофакторных моделей трудоемкости процесса возведения монолитной фундаментной плиты бескаркасного жилого здания.

В качестве объекта исследования принят ехнологический процесс возведения монолитной железобетонной фундаментной плиты для 16-ти этажного жилого дома. Рассматриваемое здание выполнено из сборного железобетона и имеет бескаркасную схему с поперечными и продольными несущими стенами. Основной шаг поперечных несущих стен: 3,0 – 3,6м. Ограждающие конструкции – стеновые панели из керамзитобетона. Максимальная высота здания – +50.500 м. Под зданием запроектирована монолитная железобетонная фундаментная плита толщиной 800 мм. Площадь плиты – 848,6 м².

Предмет исследования – организационно-технологические параметры процесса возведения монолитной железобетонной плиты с применением

эффективных современных материалов и технологий, а также факторы, влияющие на трудоемкость и стоимость процесса возведения фундаментной плиты.

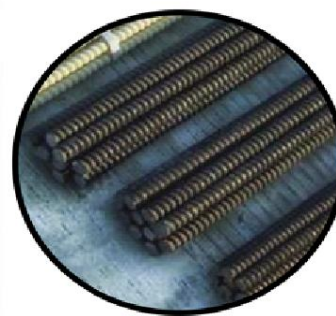
Рассмотрены три варианта организационно-технологических решений:

- 1) Ребристая фундаментная плита - стальная мелкощитовая опалубка МонолитСтройКомплект (МСК);
- 2) Сплошная фундаментная плита – мелкощитовая опалубка “Peri Domino” [13];
- 3) Коробчатого сечения фундаментная плита – модульная опалубочная система «Modulo».

Для каждой технологии рассматривается два варианта армирования – стальной и стеклопластиковой арматурой (рис. 1).



а)



б)

Рисунок 1. Композитная арматура:

- а) стеклопластиковая с напылением песка; б) базальтовая арматура

Структурно-логическая схема обоснованного выбора решений по устройству фундаментной плиты, показана на рис. 2.

Анализ существующих технологий устройства монолитной фундаментной плиты, проведенный в первом разделе данной работы показал, что использование этих технологий затрудняется рядом факторов, связанных с конструктивными и технологическими особенностями возводимого объекта.

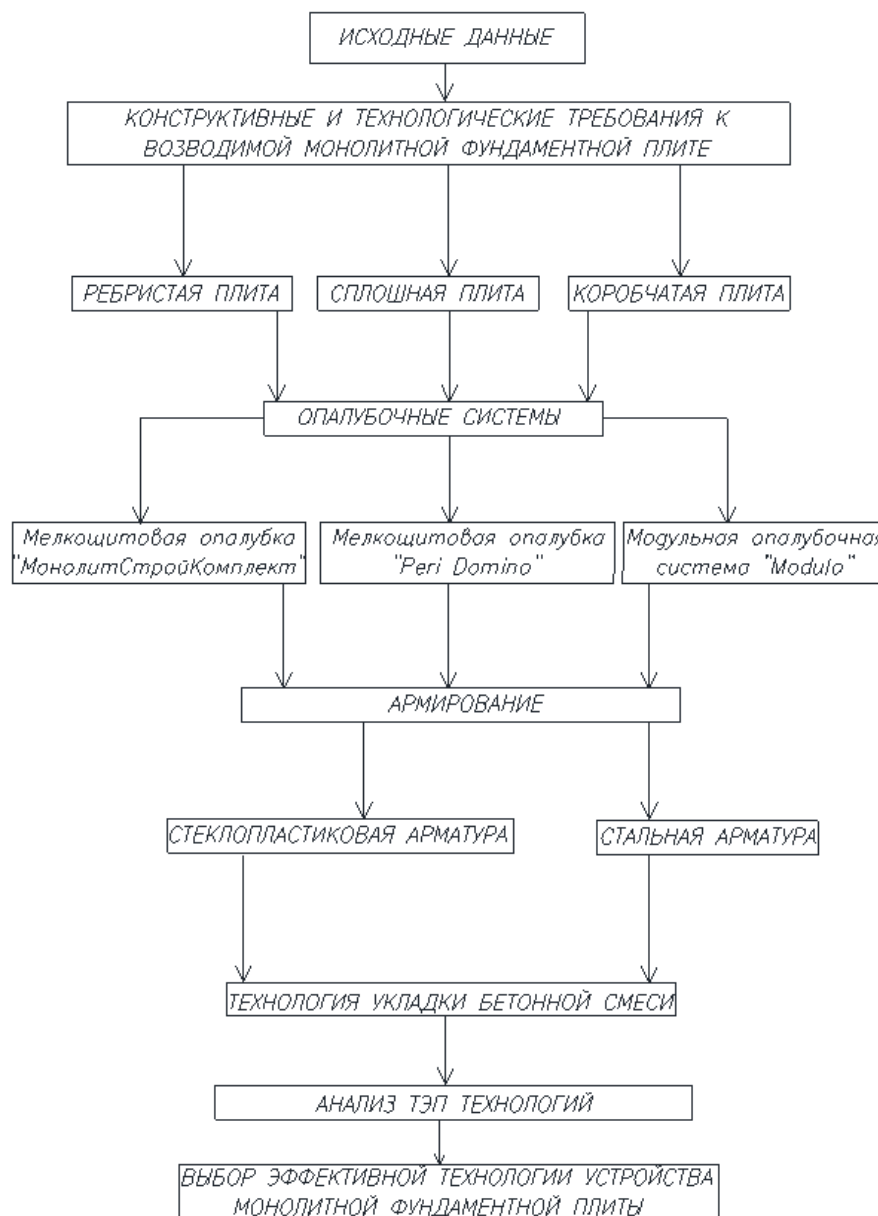


Рисунок 2. Структурно-логическая схема проведения исследования технологии производства работ по устройству монолитной фундаментной плиты

На начальном этапе оценивается принятие того или иного вида фундаментной плиты непосредственно для проектируемого здания, с учетом его функционального назначения и объемно-планировочных решений. При этом учитывается не только этажность и нагрузка на фундамент, но и дальность расположения завода монолитного бетона и складов арматуры и опалубки.

Учитывая все факторы взаимного влияния в системе конструкция-технология, принимается оптимальный вариант по устройству не только фундамента, но и всего здания.

Возникает необходимость в разработке методики выбора технологических решений процесса устройства фундаментных плит, отличающейся повышенными показателями механизации, технологичности в процессе проведения комплексного процесса бетонирования.

Для оценки влияния вышеупомянутых факторов на процесс возведения монолитной фундаментной плиты жилого здания, применен метод регрессионного анализа (планирования), описанный в [14-16], позволяющий определить уровень влияния факторов и их взаимодействия между собой.

Результаты исследования

В процессе исследования выполнен сравнительный анализ следующих вариантов технологий: 1.1) ребристая фундаментная плита – стальная мелкощитовая опалубка МонолитСтройКомплект (МСК); 1.2) ребристая фундаментная плита - мелкощитовая опалубка “Peri Domino”; 1.3) ребристая фундаментная плита – стальная мелкощитовая опалубка, модульная опалубочная система «Modulo». 2.1) Сплошная фундаментная плита – стальная мелкощитовая опалубка МонолитСтройКомплект (МСК); 2.2) сплошная фундаментная плита – мелкощитовая опалубка “Peri Domino”; 3.1) коробчатого сечения фундаментная плита – стальная мелкощитовая опалубка МонолитСтройКомплект (МСК); модульная опалубочная система «Modulo». 3.2) коробчатого сечения фундаментная плита – мелкощитовая опалубка “Peri Domino”; 3.3) коробчатого сечения фундаментная плита – мелкощитовая опалубка “Peri Domino”; модульная опалубочная система «Modulo».

Проведенный анализ полученных диаграмм технико-экономических характеристик сравниваемых трех технологий устройства монолитной фундаментной плиты показал, что наиболее рациональной для

рассматриваемой конструкции монолитной фундаментной плиты размерами 15,6x544 м толщиной 0,8 м, является технология № 1 - ребристая фундаментная плита - мелкощитовая опалубка МонолитСтройКомплект (МСК) – стеклопластиковая арматура. Данный метод наиболее эффективен по критерию стоимости устройства конструкции и позволяет сократить трудозатраты на 47,2-215,5 чел-ч, материальные затраты на 83 т.руб.

Также технология № 1 – ребристая фундаментная плита – опалубка МСК стеклопластиковая арматура, является наиболее материалоемкой по расходу бетона и арматуры. Расход арматуры уменьшается на 4,7-11,9 %, бетона на 10,9-21,9%.

Для выбора эффективной технологии необходимо сравнение калькуляций и графиков производства работ, нескольких вариантов технологий устройства фундаментных плит. Анализ полученных данных позволяет выявить рациональный вариант технологии устройства для данной конструкции.

Выбор рациональной технологии устройства фундаментной плиты выполняется путем оценки влияния организационных, технологических и конструктивных факторов.

На основании расчета калькуляций и графиков производства работ методов устройства фундаментных плит, выполнена таблица сравнения показателей (табл. 1).

Диаграммы трудозатрат на производство работ по возведению монолитной фундаментной плиты представлены на рис. 3-5.

Диаграмма стоимости и материалоемкости процесса устройства монолитной фундаментной плиты представлены на рис. 6 и 7 соответственно.

Диаграмма материалоемкости арматуры монолитной фундаментной плиты изображена на рис. 8.

Таблица 1.

Таблица сравнения показателей устройства монолитной фундаментной ПЛИТЫ

№ п/п	Наименование варианта	Трудоемкость работ.		Стоимость устройства		Материалоемкость			
		чел-ч	%	тыс. руб.	%	Бетон		Арматура	
						м ³	%	т	%
1	Рёбристая фундаментная плита «Modulo» – стеклопластиковая арматура	925,6	100	2862	100	612	100	18,1	100
2	2. Сплошная фундаментная плита, мелкощитовая опалубка МСК	841,74	90,9	2 939	102,7	679	110,9	19,2	106,1
3	3. Коробчатого сечения фундаментная плита – модульная опалубочная система МСК	946,58	102,3	2945	102,9	746	121,9	20,9	115,5

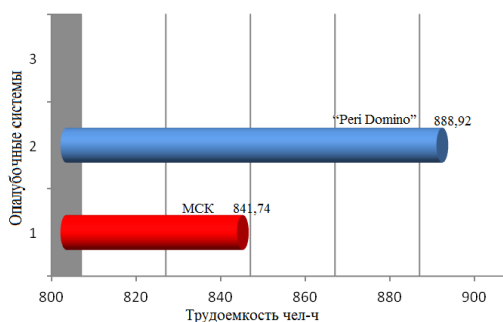


Рисунок 3. Диаграмма трудоемкости применения опалубочных систем при устройстве ребристой фундаментной плиты:

- 1 - мелкощитовая опалубка МонолитСтройКомплект (МСК);
- 2 - мелкощитовая опалубка “Peri Domino”;
- 3- опалубочная система «Modulo»

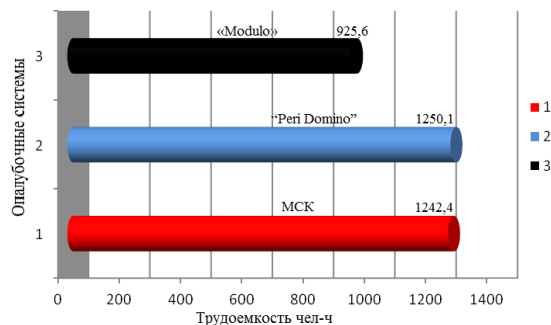


Рисунок 4. Диаграмма трудоемкости применения опалубочных систем при устройстве сплошной фундаментной плиты:

- 1 - мелкощитовая опалубка МонолитСтройКомплект (МСК);
- 2 - мелкощитовая опалубка “Peri Domino”;
- 3- опалубочная система «Modulo»

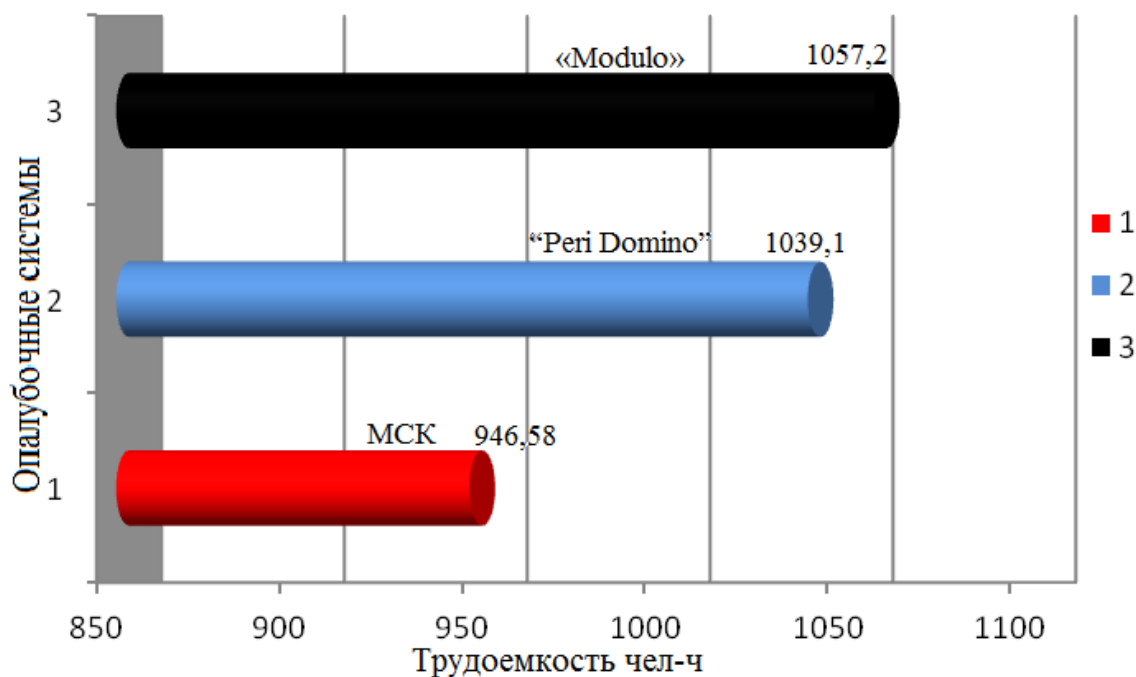


Рисунок 5. Диаграмма трудоемкости применения опалубочных систем при устройстве коробчатой фундаментной плиты: 1 – мелкощитовая опалубка МонолитСтройКомплект (МСК); 2 – мелкощитовая опалубка “Peri Domino”; 3 – опалубочная система «Modulo»

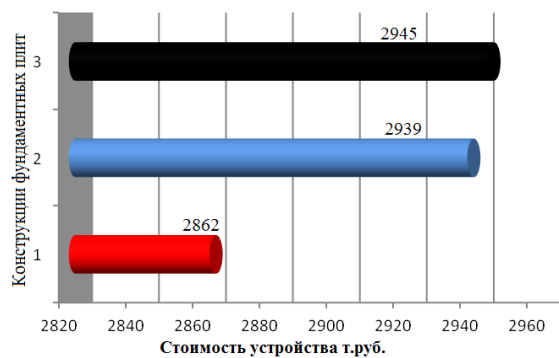


Рисунок 6. Диаграмма стоимости устройства монолитной фундаментной плиты:
1 - ребристая фундаментная плита;
2 - сплошная фундаментная плита;
3 - Коробчатого сечения фундаментная плита

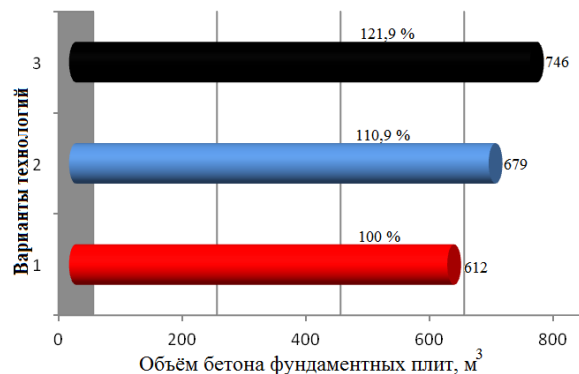


Рисунок 7. Диаграмма материалоемкости бетона монолитной фундаментной плиты:
1 - ребристая фундаментная плита;
2 - сплошная фундаментная плита;
3 - коробчатого сечения фундаментная плита

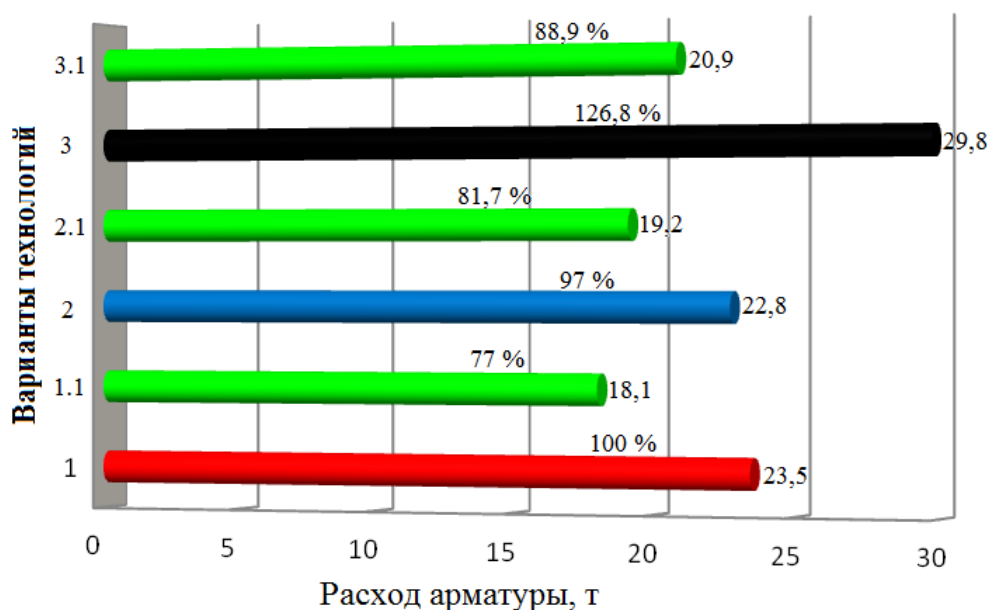


Рисунок 8. Диаграмма материалоемкости арматуры монолитной фундаментной плиты: 1 - ребристая фундаментная плита – мелкощитовая опалубка МонолитСтройКомплект (МСК) – стальная арматура; 1.1 – ребристая фундаментная плита - мелкощитовая опалубка МонолитСтройКомплект (МСК) – стеклопластиковая арматура; 2 - сплошная фундаментная плита – мелкощитовая опалубка “Peri Domino” – стальная арматура; 2.1 – сплошная фундаментная плита – мелкощитовая опалубка “Peri Domino” – стеклопластиковая арматура; 3 – коробчатого сечения фундаментная плита – модульная опалубочная система «Modulo» - стальная арматура. 3.1 – коробчатого сечения фундаментная плита – модульная опалубочная система «Modulo» - стеклопластиковая арматура.

Факторный анализ процесса возведения монолитной фундаментной плиты

На основании обобщения данных и их анализа были определены следующие группы факторов, изменяющие качественные и количественные показатели процесса устройства монолитных фундаментных плит.

В первую группу выделены следующие факторы: x_1 – толщина фундаментной плиты h (м); x_2 – площадь сооружаемой плит S (м²);

Во вторую группу исследуемых факторов выделены конструктивные особенности монолитных фундаментных плит: x_3 – конструктивные характеристики (наличие ребер, сплошная плита или наличие пустот) – k .

К третьей группе факторов отнесен: x_4 – вид арматуры применяемый для армирования фундаментной плиты – a .

Исключая малозначимые, несущественно влияющие сочетания факторов, получаем уравнения множественной регрессии трудоемкости T для фундаментных плит площадью 400 до 1800 м² следующего вида:

$$y = 62,8 + 12,6 \cdot x_1 + 0,88 \cdot x_2 + 18,2 \cdot x_3 + 6,4 \cdot x_4 + 0,9 \cdot x_1 \cdot x_2 + 34,2 \cdot x_1 \cdot x_3 - 1,5 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0,025 \cdot x_2 \cdot x_3;$$

Анализ результатов расчетов, выполненных для процесса устройства монолитной железобетонной плиты площадью от 400 до 1800 м², позволил установить значимость факторов и их сочетаний (рис. 7).

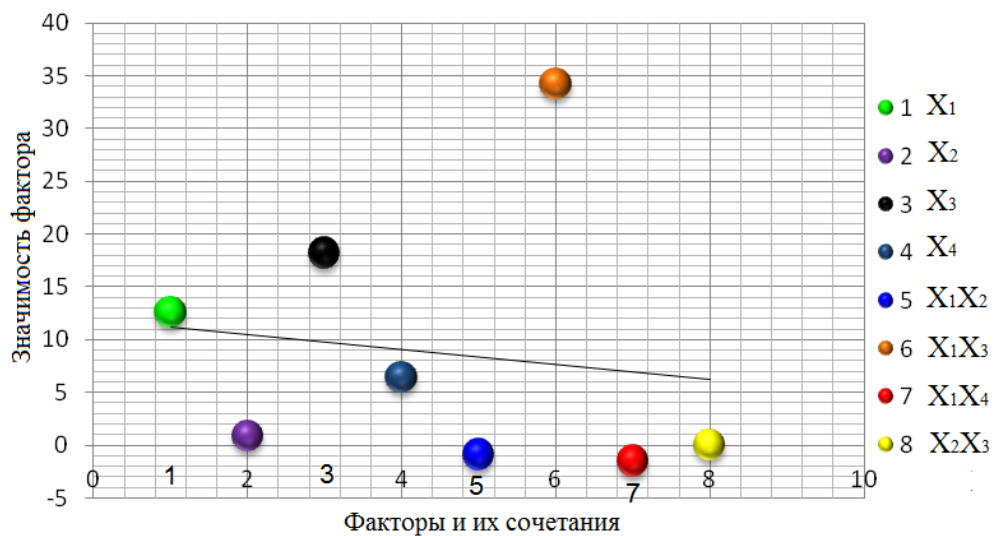
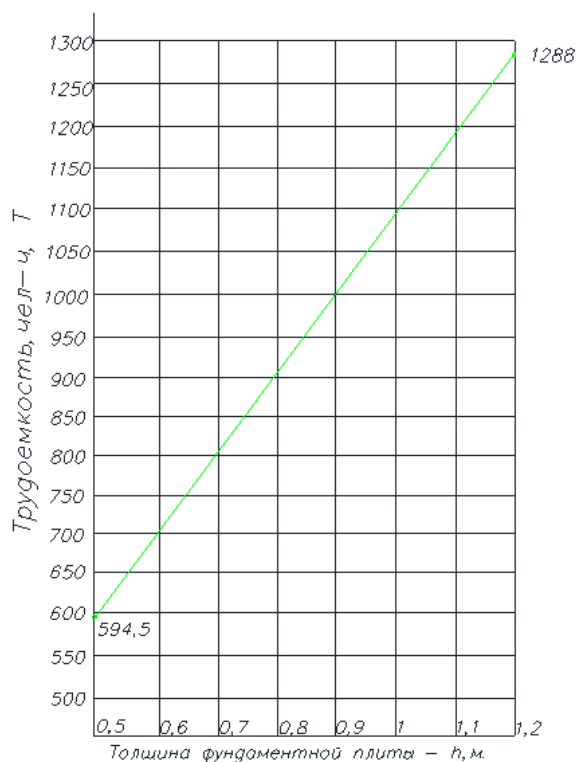


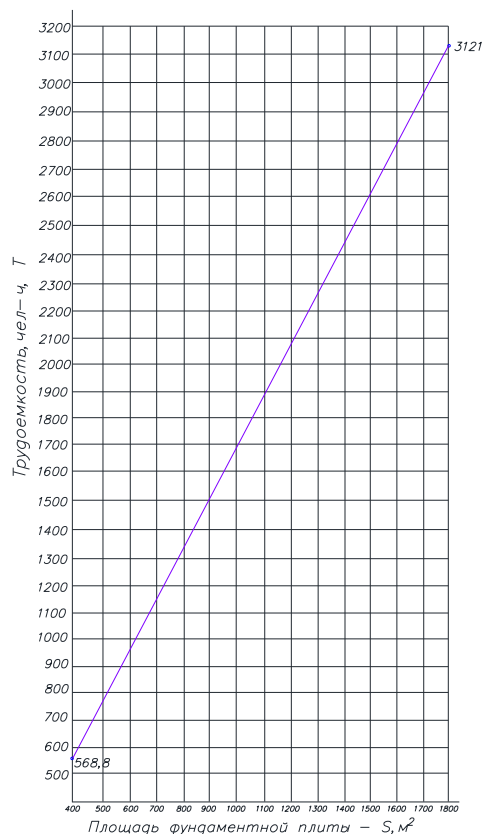
Рисунок 7. Диаграмма рангов факторов для уравнения множественной регрессии трудоемкости T устройства фундаментных плит площадью от 400 до 1800 м²

Для построения зависимостей использовалась монолитная фундаментная плита под жилым зданием толщиной 0,8 м. Площадь плиты 848,6 м². Тип плиты – сплошная; армирование – базальтовой арматурой.

На рис. 8.а представлена зависимость трудоемкости устройства фундаментной плиты от её толщины h , характер изменения трудоемкости в среднем составляет 9,91 чел–ч на 10 мм толщины плиты.



а)



б)

Рисунок 8. Зависимость трудоемкости работ: а) от толщины фундаментной плиты; б) от площади фундаментной плиты

Из зависимости на рис. 8.б видно, что для монолитных фундаментных плит площадью 400-1800 м² изменение трудоемкости составит 1,82 чел-ч на 1 м² возводимой конструкции.

На рис. 9.а показана зависимость трудоемкости возведения от типа фундаментной плиты, характер изменения трудоемкости линейный на трех участках и возрастает от сплошной конструкции плиты к ребристой на 27.3 чел-ч.

Вида армирования фундаментной плиты влияет на трудоемкость в пределах 5,2 чел-ч на 1 т армирования (рис.9.б).

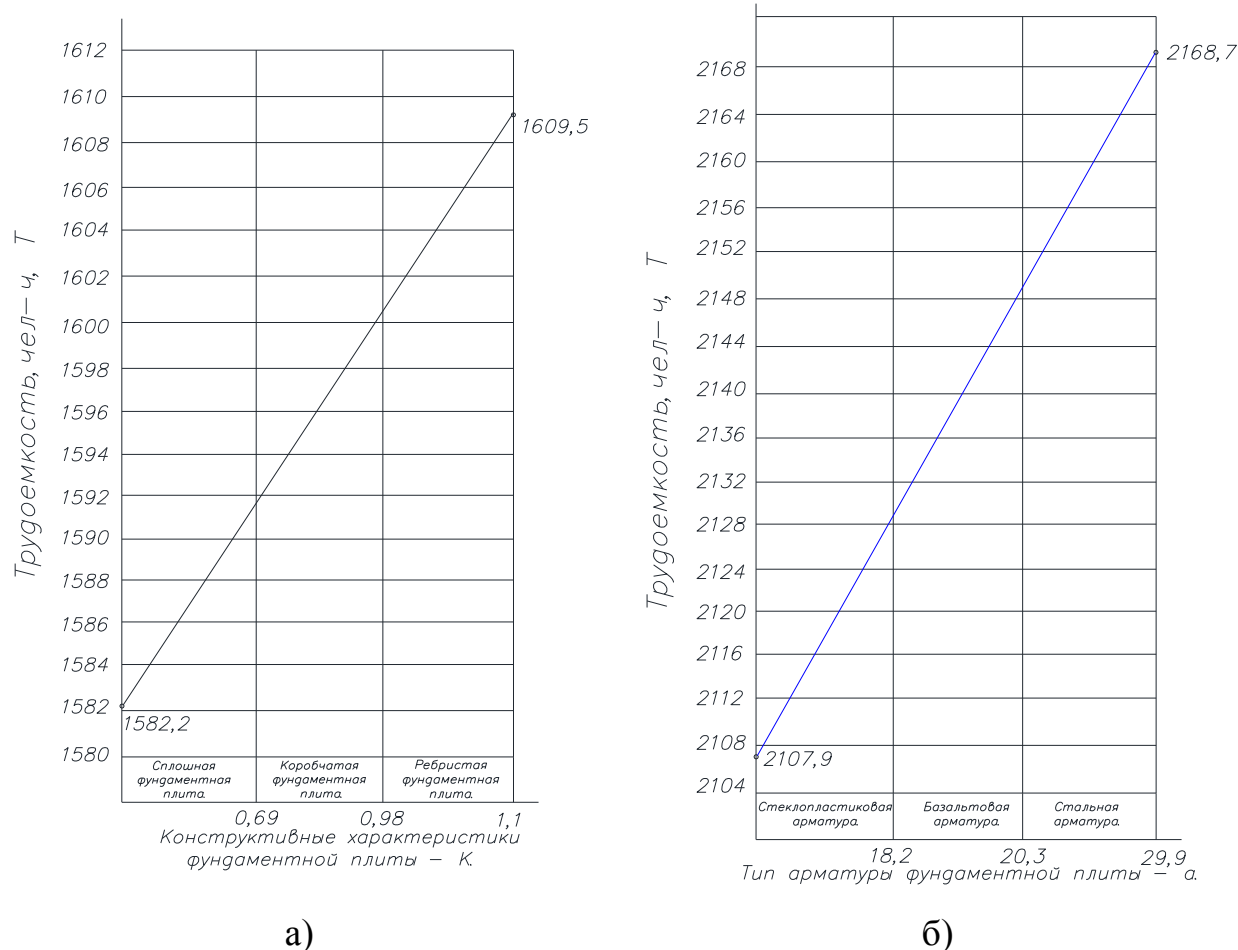


Рисунок 9. Зависимость трудоемкости работ: а) от типа фундаментной плиты; б) от вида армирования фундаментной плиты

Выводы

1. В результате исследования решена научно-прикладная задача – исследован процесс устройства монолитных железобетонных фундаментных плит.
2. По результатам сравнительного анализа методов устройства фундаментной плиты выявлено, что наиболее рациональной по критерию трудоемкости и стоимости, для рассматриваемой конструкции железобетонной плиты 15,6x544 м, является технология № 1 - ребристая фундаментная плита с использованием опалубки МСК и армированием стеклопластиковой арматурой.
3. Анализ полученных зависимостей и расчет коэффициентов показали, что

факторы, влияющие на трудоемкость устройства монолитной фундаментной плиты, по степени значимости можно расположить в следующей последовательности: 1) x_3 – конструктивные характеристики (наличие ребер, сплошная плита или наличие пустот) – k ; 2) x_1 – толщина фундаментной плиты h (м); 3) x_4 – вид арматуры, применяемый для армирования фундаментной плиты – a ; 4) x_2 – площадь сооружаемой плиты S (м²).

4. Разработана многофакторная модель, позволяющая обосновывать трудоемкость работ на стадии проектирования фундаментной плиты.

Литература

1. Артюх В.Г. Монолитные железобетонные плиты с цилиндрическими пустотами для гражданских зданий // Научно-технический вестник ДонПромстройНИИПроект. № 3. 2014. С. 159-167.
2. Таран В.В, Щукина Л.С., Парахин Д.Д. Сравнительный анализ оптимальных видов армирования при возведении монолитной железобетонной фундаментной плиты // Вестник ДонНАСА. № 4(74). 2018. С. 26-29.
3. Таран В.В. Определение затрат укладки призм пенополистирола в монолитное перекрытие // Вестник ДонНАСА. № 3(83). 2010. С. 26-29.
4. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. Москва: Стройиздат, 1980. 104 с.
5. Кустикова О.Ю. Исследование свойств базальтопластиковой арматуры и ее сцепления с бетоном // Научно-практический Интернет-журнал «Наука. Строительство. Образование». №1(12). 2014. С. 14-22.
6. Климов Ю.А. Современная композитная базальтовая арматура для армирования бетонных конструкций // Технологии бетонов. 2010. № 11/12. С. 56—57.

7. Теличенко В.И., Тереньтьев О.М., Лapidус А.А. Технология возведения зданий и сооружений. Москва: Высшая школа, 2004. 441 с.
8. Теличенко В.И., Тереньтьев О.М., Лapidус А.А. Технология строительных процессов. Москва: Высшая школа, 2005. 384 с.
9. Ozaltun H., Miller J. Finite Element simulations of monolithic plates // Structural Engineering. 126 (3). 2019. pp. 164-180.
10. Tvrdá K. Optimal Design, Reliability and Sensitivity Analysis of Foundation Plate // Applied Mechanics and Materials. 2015. 3 (103). pp. 123-138.
11. Глек Д.Н., Белаш В.В., Шеина С.Г. Исследование возможности возведения строительных объектов на плитных фундаментах мелкого заложения при реконструкции застройки города Ростов-на-Дону// Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3964.
12. Несветаев Г.В., Корянова В.И., Сухин Д.П. Некоторые вопросы бетонирования массивных фундаментных плит с применением самоуплотняющихся бетонных смесей // Инженерный вестник Дона, 2022, №8 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870.
13. Каталог опалубочных систем Peri Donino. Вып.12. PERI GmbH: 2015. – 29 с.
14. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. Москва: Металлургия, 1969. – 114 с.
15. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва: Наука, 1976. 279 с.
16. Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента. Киев : Наука, 1971. 246 с.

References

1. Artyuh V.G. Nauchno-tekhnicheskij vestnik DonPromstrojNIIProekt. № 3. 2014. pp. 159-167.
-



2. Taran V.V, Shchukina L.S., Parahin D.D. Vestnik DonNASA. № 4(74). 2018. pp. 26-29.
3. Taran V.V. Vestnik DonNASA. № 3(83). 2010. pp. 26-29.
4. Frolov N.P. Stekloplastikovaya armatura i stekloplastbetonnye konstrukcii [Fiberglass reinforcement and fiberglass concrete structures]. Moskva: Strojizdat, 1980. 104 p.
5. Kustikova O.Yu. Nauka. Stroitel'stvo. Obrazovanie. №1(12). 2014. pp. 14-22.
6. Klimov Yu.A. Tekhnologii betonov. 2010. № 11/12. pp. 56-62.
7. Telichenko V.I., Teren'tev O.M., Lapidus A.A. Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzhenij [Installation technology of buildings and structures]. Moskva: Vysshaya shkola, 2004. 441 p.
8. Telichenko V.I., Teren'tev O.M., Lapidus A.A. Tekhnologiya stroitel'nyh processov [Construction process technology]. Moskva: Vysshaya shkola, 2005. 384 p.
9. Ozaltun H., Miller J. Structural Engineering. 126 (3). 2019. pp. 164-180.
10. Tvrda K. Applied Mechanics and Materials. 2015. 3 (103). pp. 123-138.
11. Glek D.N., Belash V.V., Sheina S.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3964.
12. Nesvetaev G.V., Koryanova V.I., Suhin D.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7870.
13. Katalog opalubochnyh sistem Peri Donino [Catalog of formwork systems Peri Donino]. Vyp.12. PERI GmbH: 2015. 29 p.
14. Adler Yu.P. Vvedenie v planirovanie eksperimenta [Introduction to experiment design]. Moskva : Metallurgiya, 1969. 114 p.
15. Adler Yu.P. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij [Planning an experiment in the search for optimal conditions]. Moskva: Nauka, 1976. 279 p.
16. Fedorov V.V. Teoriya optimal'nogo eksperimenta [Theory of optimal



experiment]. Kiev: Nauka, 1971. 246 p.