



Исх. № 195911 - 14.12.2025/
Информационная статья от: 30.04.2025

Пример расчета фундамента типа УШП

Настоящая статья написана в дополнение к СТО 72746455-3.7.6-2023 «Малозаглубленные фундаменты» и статье РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФУНДАМЕНТА ТИПА УШП.

Ниже представлен пример расчета фундамента с применением прикладной методики инженерного анализа напряженно-деформированного состояния конструкции и подстилающих слоев.

Анализ исходных данных

Площадка строительства соответствует IV снеговому и III ветровому районам. В основании отсутствуют специфические грунты, район строительства не обладает сейсмической активностью с 7 и более баллами и иными признаками сложной инженерно-геологической обстановки.

По результатам лабораторных испытаний, грунтовые условия представлены суглинком со следующими основными необходимыми физико-механическими характеристиками:

- модуль деформации 8 МПа,
- коэффициент Пуассона 0,3,
- угол внутреннего трения 10° ,
- удельное сцепление грунта 10 кПа,
- проектный коэффициент уплотнения 0,95.

Объемно-планировочные решения будущего малоэтажного дома представлены на рисунке Рисунок 1.



*Рисунок 1 – Слева: принципиальная схема малоэтажного дома для инженерного анализа;
справа – план первого этажа с контуром вертикальных несущих конструкций*

Вертикальные несущие конструкции являются каменными, с облицовочным кирпичом. Плиты перекрытия и покрытия — из монолитного железобетона. Плита покрытия выполняет функцию кровли-террасы. Состав внешних и внутренних несущих стен описывается в сборе погонных нагрузок на фундамент.

Габаритные размеры УШП в плане 12x12 м. Основной частью фундамента является тонкостенная часть по всей площади, толщиной 10 см. По периметру УШП, под внешними несущими стенами в составе плиты устраиваются ребра шириной 750 мм и высотой 300 мм. Ребро под внутренней стеной вдоль цифровых осей принимается исходя из минимальных требований для данного каркаса: 600 мм шириной, 200 мм высотой.

Так как вертикальный каркас является каменным, в первой итерации инженерного анализа для песчаной подушки необходимо применять минимальные условия, близкие к описанным в прикладной методике. ([Статья РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФУНДАМЕНТА ТИПА УШП](#))



Рисунок 2 – Рекомендуемые параметры песчаной подушки фундамента типа УШП в первой итерации для каменных вертикальных несущих стен

Максимальное расчётное давление, воспринимаемое утеплителем фундамента, составляет 20 т/м². Полученные значения сжимающих усилий ниже приведённого гарантируют отсутствие явных нелинейных деформаций при работе в упругой стадии.

Сбор нагрузок

Нагрузки и воздействия принимаются строго с регламентированными требованиями СП 20.13330

Так как конечно-элементная модель будет представлять модель фундамента типа УШП, а также штамповую жёсткость кирпичных стен, то принимается во внимание следующая особенность назначения нагрузок:

1. Нагрузки, действующие в уровне пола фундамента, задаются непосредственно в модели и представляют собой равномерно распределенные нагрузки с нормативным значением 150 км/м², которое соответствует показателю для жилых помещений. Данная нагрузка является кратковременной и используется для проверки выполнения требований первой группы предельных состояний с коэффициентом надёжности по нагрузке 1,3. Для анализа второго предельного состояния, в частности, вертикальных перемещений фундамента, принимается длительная часть с учётом коэффициента 0,35.
2. Нагрузка от штамповой жёсткости учитывается непосредственно конечно-элементной моделью этой жёсткости с учётом решений по фасаду и задаётся в явном виде в программном комплексе.

Также необходимо отметить, что для анализа фундамента типа УШП составляющая от ветровых нагрузок по сравнению с другими мала, поэтому допускается её не учитывать. Данное положение не распространяется на проверку несущей способности элементов фасада

и кровли, а также их узлов, где значения ветровой нагрузки — статическая и динамическая составляющие, пиковые значения — являются ключевыми при анализе.

Коэффициенты надёжности для отдельных категорий применяемых материалов в составе несущих конструкций принимаются согласно СП 20.13330.

Таблица 1. Сбор нагрузок на 1 п.м. внешней стены от собственного веса.

№	Описание состава	Плотность, кг/м³	Расход, кг/м²	Нормативная нагрузка, кг/м	γ_f	Расчетная нагрузка, кг/м
1	Облицовка из пустотелого кирпича, 120 мм	1500	-	1170	1,1	1287
2	Плиты из каменной ваты, 100 мм	120	-	78	1,2	93,6
3	Штукатурно-клеевая смесь	1470	6	39	1,3	50,7
4	Кирпичная стена, 250 мм	1800	-	2925	1,1	3217,5
5	Штукатурная смесь на основе гипса, 10 мм	950	9,5	61,75	1,3	80,275
Всего				4273,75	1,107	4729,08

Таблица 2. Сбор нагрузок на 1 п.м. внутренней стены от собственного веса.

№	Описание состава	Плотность, кг/м³	Расход, кг/м²	Нормативная нагрузка, кг/м	γ_f	Расчетная нагрузка, кг/м
1	Штукатурная смесь на основе гипса, 10 мм	950	9,5	61,75	1,3	80,275
2	Кирпичная стена 250 мм	1800	-	2925	1,1	3217,5
3	Штукатурная смесь на основе гипса, 10 мм	950	9,5	61,75	1,3	80,275
Всего				3048,5	1,108	3378,05

Таблица 3. Сбор нагрузок на 1 м² межэтажной плиты перекрытия.

№	Описание состава	Толщина, мм	Плотность, кг/м³	Норм. нагрузка, кг/м²	γ_f	Расчет. нагрузка, кг/м²
1	Железобетонная плита	200	2500	500	1,1	550
2	Экструзионный пенополистирол	40	36	1,44	1,2	1,728
3	Пленка пароизоляционная	-	-	0,18	1,2	0,216
4	Стяжка жб	50	2500	125	1,1	137,5

5	Покрытие пола (керамогранитная плитка на плиточном клее)	20	2500	50	1,3	65
	Всего по составу пола			676,62	1,115	754,44
Временные нагрузки						
6	Полезная нагрузка	-	-	150	1,3	195
7	Нагрузка от перегородок	-	-	50	1,3	65
	Всего, включая полезную нагрузку			876,62	1,157	1014,44

Таблица 4. Сбор нагрузок на 1 м² кровли-террасы.

№	Описание состава	Толщина, мм	Плотность, кг/м ³	Норм. нагрузка, кг/м ²	γ_f	Расчет. нагрузка, кг/м ²
1	Железобетонная плита	200	2500	500	1,1	550
2	Пароизоляция	-	-	4	1,2	4,8
3	Плиты теплоизоляционные клиновидные	200	35	7	1,2	8,4
4	Плиты теплоизоляционные	150	35	5,25	1,2	6,3
5	Полимерная мембрана	2	-	2,4	1,2	2,88
6	Иглопробивной термообработанный геотекстиль 300 г/м ²	-	-	0,3	1,2	0,36
7	Тротуарная плитка толщиной 40 мм на регулируемых опорах	40	2400	96	1,2	115,2
	Всего по составу пола			614,95	1,119	687,94
Временные нагрузки						
8	Полезная нагрузка	-	-	150	1,3	195
9	Нагрузка от стационарного оборудования	-	-	47,62	1,05	50
	Всего, включая полезную нагрузку			812,57	1,148	932,94

Таблица 5. Сбор нагрузок на 1 п.м. внутренней стены, с кровли-террасы.

Описание	Нормативная нагрузка, кг/м	γ_f	Расчетная нагрузка, кг/м
В углу	0		0
Через 3 м	4875,41		5597,64
Через 6 м	4875,41		5597,64

Таблица 6. Сбор нагрузок на 1 п.м. внешней стены, с кровли-террасы.

Описание	Нормативная нагрузка, кг/м	γ_f	Расчетная нагрузка, кг/м
В углу	0		0
Через 3 м	2437,71		2798,82
Через 6 м	2437,71		2798,82

Для плоской кровли-террасы снеговая нагрузка принимается равномерной по всей площади. Нормативное значение — 200 кг/м², расчётное — 280 кг/м² (условие из СП 20.13330.2016).



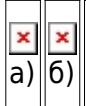


Рисунок 3 – Пример данных для сбора нагрузок:
а) состав внешних несущих стен;
б) грузовые площади перекрытия и покрытия.

Таблица 7. Сбор нагрузок на 1 п.м. внутренней стены, снеговая нагрузка с кровли-террасы.

Описание	Нормативная нагрузка, кг/м	γ_f	Расчетная нагрузка, кг/м
В углу	0		0
Через 3 м	1200	1,4	1680
Через 6 м	1200		1680

Таблица 8. Сбор нагрузок на 1 п.м. внешней стены, снеговая нагрузка с кровли-террасы.

Описание	Нормативная нагрузка, кг/м	γ_f	Расчетная нагрузка, кг/м
В углу	0		0
Через 3 м	600	1,4	840
Через 6 м	600		840



Рисунок 4 – Распределение линейных нагрузок, собранных с железобетонного перекрытия.

Форма распределения обусловлена произведением нагрузок с площади на ширину грузовой площади: в углу данное значение составляет 0, от 1/4 до 3/4 части грузовой площади – 3 метра.



Рисунок 5 – Распределение линейных нагрузок, собранных с кровли-террасы.

Правила формирования аналогичны как для перекрытия.

После сбора нагрузок производится предварительная оценка достаточности ширины ребра плиты для передачи нагрузки на утеплитель без потери несущей способности. В данном случае, максимальное суммарное значение погонной расчётной нагрузки для внешнего ребра составляет 11,41 т/м, для внутреннего – 16,74 т/м.

Соответственно, ширины внешнего ребра в 750 мм, для решения с облицовочным кирпичом, будет достаточно, чтобы выполнить условия для обеспечения несущей способности. Для внутреннего ребра необходима ширина не менее 600 мм. Проверка несущей способности:

— для ребра под внутренней стеной:



— для ребра под внешней стеной:



Также, согласно техническому заданию на проектирование, имеется нагрузка на тонкостенную часть фундамента в виде распределённой нагрузки 150 кг на площади 0,5x1,0 м или 300 кг/м². Необходимо проверка на продавливание.



Условие выполнено, проверка на продавливание пройдена.

Разработка конечно-элементной модели

Разработка конечно-элементной модели производится в специализированном программном обеспечении. Габаритные размеры конечно-элементной модели соответствуют объёмно-планировочным решениям: 12x12 м. В первой итерации, для корректной оценки напряжённо-деформированного состояния тонкостенной части и оценки упругого основания, моделирование рёбер рекомендуется оболочечными элементами и эксцентризитетом по оси в соответствии с проектом.

После вычисления коэффициентов постели данные участки рёбер фундамента заменяются на стержневые элементы, по которым вычисляются поперечные силы и изгибающий момент. Рекомендуемый диапазон характерного размера конечного элемента — 10-20 см.



Рисунок 6 — а) КЭ-модель расчётной ситуации для фундамента типа УШП (стены скрыты); б) и в) пример к требованиям по минимальному количеству и расположению скважин (описание геологической ситуации для вычисления коэффициентов постели)

Результаты расчёта и интерпретация



*Рисунок 7 — Изополя вертикальных перемещений с учётом штамповой жёсткости, мм.
Максимальные ожидаемые вертикальные перемещения ≈10 мм.*



Рисунок 8 — Мозаика изгибающих моментов M_x по направлению локальных осей x , (т·м)/м.

Тонкостенная часть фундамента типа УШП, штамповая нагрузка. Максимальные моменты под центральной частью (нижнее волокно). В углу — правило локальных осей для КЭ



Рисунок 9 — Мозаика изгибающих моментов M_y по направлению локальных осей y , (т·м)/м.

Тонкостенная часть фундамента типа УШП, штамповая нагрузка. Максимальные моменты под внешней стеной, обоснованная в том числе передачей нагрузок с центральной части



Рисунок 10 — Мозаика поперечных сил Q_x по направлению локальных осей x , т/м.

Тонкостенная часть УШП, штамповая нагрузка. Максимальные поперечные силы под центральной частью



Рисунок 11 — Мозаика поперечных сил Q_y по направлению локальных осей y , т/м.

Тонкостенная часть УШП, штамповая нагрузка. Максимальные поперечные силы под внешней стеной



Рисунок 12 — Мозаика требуемого армирования по центральному волокну по направлению локальных осей x , см²/м.

Рекомендуемое фоновое армирование шагом 200 Ø10, A400. Дополнительное армирование, с учётом интерпретации локальных концентраторов и всплесков усилий, стержнями шагом 200 Ø12, A400 на центральном участке под внутренней стеной. Бетон класса В2



Рисунок 13 — Мозаика требуемого армирования по центральному волокну по направлению локальных осей y , см²/м.

Рекомендуемое фоновое армирование шагом 200 Ø10, A400. Бетон класса В20



 Рисунок 14 — Мозаика крутящего момента M_y в рёбрах УШП, т·м.

Результаты без учёта жёсткости каркаса. Максимальные изгибающие моменты на стыке внутреннего и внешнего рёбер фундамента.



 Рисунок 15 — Мозаика крутящего момента M_x в рёбрах УШП, т·м.

Результаты без учёта жёсткости каркаса. Максимальные изгибающие моменты на стыке внешних рёбер фундамента



 Рисунок 16 — Мозаика поперечных сил Q_z в рёбрах фундамента типа УШП, т.

Результаты без учёта жёсткости каркаса. Максимальные поперечные силы на стыке внутреннего и внешнего рёбер фундамента



 Рисунок 17 — Огибающая мозаика требуемого армирования в рёбрах УШП, для нижней грани, см².

Бетон класса В20. Для верхней грани армирование эквивалентно.



 Рисунок 18 — Огибающая мозаика требуемого поперечного армирования в рёбрах УШП, см².

Бетон класса В20.

Заключение по произведённому инженерному анализу

Чтобы обеспечить механическую безопасность, нормальную эксплуатацию фундамента типа УШП, выполнение требований по первой и второй группам предельных состояний, предъявляемых нормативно-правовыми актами, необходимо соблюдать условия:

1. Ожидаемые значения максимальных вертикальных перемещений составляют 1 см, допустимые значения 12 см согласно СП 22.13330.2016. Значения относительных вертикальных перемещений в сравнении с центральной частью не являются существенными и составляют 3 мм разницы при максимальной относительной разнице 0,002. Для данного случая при пролёте 6 м — 12 мм относительной разности.
2. Ширины рёбер фундамента достаточно для передачи нагрузок на утеплитель.

3. Принять бетон класса В20, а армирование класса А400 как основное рабочее армирование и А240 как поперечное.
4. Армирование тонкостенной части УШП рекомендуется выполнить Ø10, шагом 200 по всей площади. Сетку расположить в нейтральной зоне конструкции, по центру. Произвести дополнительное армирование стержнями Ø12 шагом 200 мм в зоне под центральной стеной, перпендикулярно ей. Длину стержней принять 2 метра.
5. Основное рабочее армирование по нижней грани рёбер составляет 4Ø12. Аналогичное условие для верхнего армирования.

Поперечное армирование в рёбрах фундамента выполнить в пределах 0,5 м от зон их пересечений хомутами Ø6 шагом 100 мм, далее шаг 200 мм.

Автор статьи:

Евгений Линьков

Руководитель направления «Коттеджное и малоэтажное строительство»,
ведущий специалист



Ответ сформирован в
базе знаний по ссылке