

**Руководство по проектированию
малозаглубленного ребристого фундамента
типа «Утеплённая шведская плита»**

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее руководство разработано в дополнение к СТО 72746455-4.2.3-2024.

Рецензенты: кафедра «Основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I» зав. кафедрой д.т.н. В.Н. Парамонов, доцент, к.т.н. П.А. Кравченко, доцент, к.т.н. К.В. Сливцев

Приведенные в стандарте технические решения и информация основаны на анализе действующих в Российской Федерации нормативных документов в области проектирования и строительства систем подземных частей зданий и сооружений, а также знаниях и практическом опыте ведущих специалистов в данной отрасли.

Целями разработки настоящего руководства являются:

- повышение качества проектирования малозаглубленных фундаментов;
- содействие соблюдению требований технических регламентов;
- повышение уровня энергетической эффективности зданий, строений, сооружений в соответствии с Федеральным законом [от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ](#) [1];
- структурирование и описание методики обеспечения механической безопасности и эксплуатационной пригодности незаглубленных ребристых фундаментов типа «Утепленная шведская плита» на основании численного компьютерного моделирования.

Руководство может быть использовано проектными и строительными организациями, а также специалистами строительного надзора.

Содержание

1	Область применения.....	4
2	Нормативные ссылки	4
3	Термины, определения, обозначения и единицы измерения	5
3.1	Термины и определения.....	5
3.2	Сокращения.....	6
3.3	Обозначения и единицы измерения	7
4	Общие положения	7
5	Требования к материалам несущих конструкций и оснований.....	8
5.1	Бетон	8
5.2	Арматура.....	9
5.3	Грунты	10
5.4	Утеплитель	10
6	Требования к обеспечению механической безопасности	13
6.1	Группы предельных состояний	13
6.2	Основные положения по расчётному обоснованию	13
6.2.1	Расчётные предпосылки и допущения	13
6.2.2	Прикладная методика.....	14
6.2.3	Основные принципы инженерного анализа	18
6.3	Требования к конструкциям и основаниям УШП.....	21
6.3.1	Железобетон	21
6.3.2	Основания.....	22
7	Требования к производству работ	23
7.1	Уход за бетоном	23
7.2	Распалубка	24
7.3	Контроль качества.....	25
	Приложение А (справочное) Пример инженерного анализа УШП	26
	Приложение Б (справочное) Принципиальные решения по основным узлам УШП ...	47
	Приложение В (справочное) Табличное представление прикладной методики.....	54
	Библиографический список.....	55

1 Область применения

1.1 Рекомендации настоящего Руководства распространяются на основные положения проектирования малозаглубленных ребристых фундаментов типа «Утеплённая шведская плита» для малоэтажных жилых зданий.

1.2 Рассматриваемый в Руководстве тип объектов капитального строительства – малоэтажные, жилые здания, в которых качественная картина нагрузок и воздействий преимущественно статическая.

1.3 В Руководстве не рассматриваются специфические и особые инженерно-геологические условия: сейсмоопасные районы строительства, районы с мёрзлыми и вечномёрзлыми грунтами, просадочные грунты и т.п. Для сейсмоопасных районов приводятся только основные положения и действия при проектировании УШП.

2 Нормативные ссылки

В настоящем руководстве приведены основные ссылки на следующие нормативные документы:

СП 14.13330	Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81
СП 15.13330	Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81
СП 20.13330	Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85
СП 22.13330	Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83
СП 45.13330	Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87
СП 63.13330	Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения СНиП 52-01-2003
СП 96.13330	СНиП 2.03.03-85 Армоцементные конструкции
СП 435.1325800	Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приёмки работ
ГОСТ 27751-2014	Надёжность строительных конструкций. Основные положения
ГОСТ 10180	Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам
ГОСТ 22733	Грунты. Метод определения максимальной плотности

ГОСТ 22690	Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля
ГОСТ 17624	Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности
ГОСТ 12248.10	Грунты. Определение характеристик деформируемости мерзлых грунтов методом компрессионного сжатия
ГОСТ 5180	Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик
ГОСТ 28514	Строительная геотехника. Определение плотности грунтов методом замещения объема
ГОСТ 30672	Грунты. Полевые испытания. Общие положения
ГОСТ Р 70260	Грунты. Методы полевого определения плотности крупнообломочных грунтов
ГОСТ 34329-2017	Опалубка. Общие технические условия

Примечание - При пользовании настоящим Руководством целесообразно проверить действие ссылочных нормативных документов в информационной системе общего пользования - на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения, обозначения и единицы измерения

3.1 Термины и определения

3.1.1 конечно-элементная модель: Математическая модель идеализированного объекта, полученная с помощью дискретизации исследуемой области на отдельные элементы конечной величины и связанные между собой математической функцией конечные элементы в узлах;

3.1.2 коэффициенты надёжности: Коэффициенты, учитывающие вероятность неблагоприятного отклонения значений нагрузок и воздействий, свойств

материалов, а также отклонения расчётной схемы (численной модели) объекта от реальных условий его эксплуатации;

3.1.3 механическая безопасность: Состояние здания, сооружения, несущих конструкций и их основания, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с угрозой жизни человека, причинения крупного социально-экономического вреда обществу и государству;

3.1.4 надёжность: Мера, выражающая значение вероятности безотказной работы отдельного объекта или системы объектов в течении назначенного срока эксплуатации;

3.1.5 утеплённая шведская плита: Система фундаментных конструкций в основании дома, включающая в себя плитный фундамент с ребрами жесткости, утеплитель в основании и по периметру пятна застройки, дренажную систему и систему водяного теплого пола;

3.1.6 численное, компьютерное моделирование (Computer-aided engineering, сокр. CAE): Комплекс практических подходов и теорий применения различных формулировок симуляции процессов и объектов с использованием вычислительной техники;

3.1.7 CAE-модель: Модель, разработанная посредством численного, компьютерного моделирования, с целью симуляции исследуемых процессов, развитыми современными методами аналитического и численного анализа (метода конечных элементов, метода конечных объёмов и др.).

3.2 Сокращения

АР – архитектурные решения;

ГОСТ – государственный (межгосударственный) стандарт;

ИГЭ – инженерно-геологический элемент;

КЖ – конструкции железобетонные;

НДС – напряжённо-деформированное состояние;

ПК – программный комплекс;

СП – свод правил;

УШП – утеплённая шведская плита;

CAD – Computer-aided Design (система автоматизированного проектирования);

CAE – Computer-aided Engineering (компьютерное проектирование);

SSI – Soil Structure Interaction (взаимодействие с грунтами основания).

3.3 Обозначения и единицы измерения

C_1	– коэффициент постели;
R_z	– давление под подошвой фундамента;
U_i	– перемещения в глобальной системе координат по направлению i ;
E_{avg}	– модуль деформации грунта усреднённый;
H_c	– мощность сжимаемой толщи грунта;
ν_{avg}	– коэффициент Пуассона грунта усреднённый;
σ_i	– напряжения в грунте / несущих конструкциях по i -компоненте;
ε_i	– деформации в грунте / несущих конструкциях по i -компоненте;
$N_{i,LS1}$	– несущая способность по силовому фактору X в направлении i ;
N_i	– силовой фактор N в направлении i ;
γ_i	– коэффициент надёжности;
$\sum_{i=m}^m$	– сумма значений;
$\rightarrow$	– символ следствия.

4 Общие положения

4.1 При проектировании несущих конструкций УШП рекомендуется руководствоваться обязательными к применению требованиями [СП 63.13330](#), [СП 96.13330](#), а при анализе основания – требованиями [СП 22.13330](#).

4.2 Ввиду новизны и специфики конструктивных решений, а также широко спектра специфических условий эксплуатации на территории Российской Федерации и стран СНГ, необходимо учитывать дополнительные требования и исходные данные при проектировании, выходящие за рамки требований действующих нормативных актов.

Под спецификой конструктивных решений подразумевается:

а) ребристая структура. Железобетонная часть фундамента представляет собой монолитные балки, обвязанные тонкой плитой по верху. Плитная часть армируется одной сеткой в нейтральном сечении. Узел жесткого сопряжения ребер и плитной части ввиду значительной разницы жесткостей является наиболее уязвимой

частью данной конструкции и требует особого внимания при конструировании, особенно при значительных сосредоточенных нагрузках;

б) наличие промежуточного искусственного слоя основания между несущими конструкциями УШП и грунтовым основанием, в виде утеплителя с высокими показателями жёсткости и прочности (наличие необратимых деформаций может являться причиной снижения теплоизолирующих свойств, а также развития сверхнормативных деформаций несущих конструкций УШП и надземной части).

4.3 Для проектирования рёбер жёсткости УШП можно с достаточной точностью руководствоваться [СП 63.13330](#), в отношении тонкостенных участков УШП (в связи с малой толщиной конструктивно невозможно выполнять поперечное армирование, а продольное армированное возможно выполнить только одной сеткой по нейтральному слою) при проектировании помимо [СП 63.13330](#) необходимо руководствоваться [СП 96.13330](#).

4.4. Для оценки качественной и количественной картины внутренних напряжений и деформаций рекомендуется применять компьютерное моделирование в инженерных расчетных ПК, позволяющих учесть нелинейные эффекты (физическую нелинейность, контакт поверхностей, решение в постановке SSI) и объёмное НДС. Так как данный подход может оказаться затруднительным в применении и больше актуален для исследовательских целей, некоторые рекомендации представлены в настоящем Руководстве в виде прикладных методик.

5 Требования к материалам несущих конструкций и оснований

5.1 Бетон

5.1.1 Железобетонные конструкции УШП следует выполнять из тяжёлого бетона, с классом по прочности не ниже B20.

5.1.2 При подборе состава бетона рекомендуется применение заполнителя с размером фракций от 5 до 10 мм, обусловленное наличием близких к тонкостенным участкам конструкций УШП. Количество данных фракций к общему количеству большего размера, должно быть не менее 50 %. Максимальный размер фракций заполнителя составляет 20 мм и не должен превышать 25 % к общему количеству требуемого заполнителя. Не рекомендуется применять заполнителя из щебня марки по прочности ниже M800.

5.1.3 Марка по морозостойкости и водонепроницаемости назначается из климатических и гидрогеологических условий эксплуатации УШП. Для конструкций

ШУП не рекомендуется применять бетон с маркой по морозостойкости ниже F50, с маркой по водонепроницаемости ниже W6.

5.1.4 Рекомендуемые значения нормативных и расчётных сопротивлений осевым сжатию (призменная прочность) и растяжению представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Вид сопротивления	Значение в МПа, нормативного / расчётного сопротивления для класса бетона			
	B20	B25	B30	B35
Сжатие	15,00 / 11,50	18,50 / 14,50	22,00 / 17,00	25,50 / 19,50
Растяжение	1,35 / 0,90	1,55 / 1,05	1,75 / 1,15	1,95 / 1,30

5.1.5 Значения модуля упругости бетона для расчетов принимается по таблице 5.2.

Таблица 5.2

Значение в ГПа, модуля упругости для класса тяжёлого бетона			
B20	B25	B30	B35
27,5	30,0	32,5	34,5

5.1.6 Значения модуля деформации для учёта ползучести бетона при анализе по второй группе предельных состояний, принимается в соответствии с разделом 6 [СП 63.13330.2018](#).

5.2 Арматура

5.2.1 Армирование в железобетонных конструкциях УШП следует выполнять стержнями гладкого и периодического профиля арматуры класса «А». Класс для поперечного армирования, как правило, применяется А240, для основного рабочего, включая рёбра УШП – А400.

5.2.2 Рекомендуемые значения нормативных и расчётных сопротивлений осевым сжатию (призменная прочность) и растяжению представлены в таблице 5.3

Таблица 5.3

Вид сопротивления	Значение в МПа, нормативного / расчётного сопротивления для класса арматуры	
	A240	A400
Растяжение	240 / 210 / 170*	400 / 350 / 280*
Сжатие	240 / 210	400 / 350

* Последнее значение для поперечной арматуры

5.2.3 Допускается эквивалентная замена арматуры класса А400 на класс А500 / А500С, при соблюдении соответствующих требований к анкеровке армирования, перевязке внахлест.

5.2.4 Модуль упругости для арматуры принимают одинаковым при растяжении и сжатии и равным $E=200$ ГПа.

5.3 Грунты

5.3.1 В качестве естественного основания для УШП, рекомендуется грунт со следующими минимальными механическими характеристиками:

- глинистые грунты (супеси, суглинки, глины) модуль деформации $E=8$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi=10^\circ$, значение внутреннего сцепления $c=10$ кПа;
- песчаные грунты (песок) модуль деформации $E=8$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi=28^\circ$, значение внутреннего сцепления $c=0$ кПа.

5.3.2 Минимальная толщина песчаной подготовки составляет 0,3 м, а модуль деформации 15 МПа при соответствующем уплотнении. Крупность песка следует принимать не ниже средней. Коэффициент уплотнения при этом должен быть не ниже 0,95.

5.3.3 Следует избегать применения в качестве основания специфических грунтов без расчётного обоснования, т.е. грунтов, способных существенно изменять свои физико-механические характеристики под действием внешних факторов за период эксплуатации здания (как минимум один раз в 50 лет). Проектирование зданий с применением УШП в специфических грунтовых условиях необходимо вести с учетом требований раздела 6 [СП 22.13330.2016](#).

5.3.4 Механические характеристики грунтов основания необходимо определять лабораторными методами с отбором образцов не менее чем из двух скважин. Деформационные характеристики допускается определять по физическим характеристикам в соответствии с приложением А [СП 22.13330.2016](#).

5.4 Утеплитель

5.4.1 В качестве подстилающего слоя в конструкциях фундаментов (и других подземных конструкций) в виде эффективного утеплителя рекомендуется применять плиты экструзионного пенополистирола XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON.

5.4.2 Под нагружаемыми конструкциями следует применять утеплитель с высокими значениями прочностных и деформационных характеристик прочностных и деформационных характеристик (XPS Carbon Eco SP). Утеплитель должен иметь способность работать в упругой стадии в необходимом диапазоне нагрузок без необратимых деформаций. Требования к подстилающему слою должны быть сформулированы на основании расчета и ожидаемого диапазона нагрузок.

5.4.3 Применяемый утеплитель под нагружаемыми конструкциями должен пройти сертификацию и лабораторные испытания на сжатие и изгиб, гарантирующие сохранение физико-механических свойств в течение всего срока эксплуатации здания или сооружения.

5.4.4 Плиты утеплителя должны удовлетворять следующим требованиям:

- быть биостойкими (определяют на основе химического анализа);
- быть нетоксичными (заключение СЭС или иной документ);
- выдерживать нагрузки, возникающие при возведении и эксплуатации здания.

5.4.5 В качестве утепляющих материалов под нагружаемыми элементами здания рекомендуется применять экструзионный пенополистирол марки XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO SP (допускается замена на XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON SOLID при соответствующем расчетном и экономическом обосновании).

5.4.6 Для утепления фундаментов с наружной стороны (вертикальная плоскость) рекомендуется применять XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO (допускается замена на XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF при соответствующем обосновании).

5.4.7 Не допускается наличие продольных стыков плит утеплителя под ребрами жесткости фундамента.

5.4.8 Теплоизоляционный слой вблизи наружных фундаментов (под отмосткой) рекомендуется укладывать из плит экструзионного пенополистирола марки XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO, XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF, на глубине 20-30 см от отметки планировки прилегающей к фундаменту поверхности грунта. Плиты теплоизоляции укладываются на подготовку из крупнозернистого песка или гравия толщиной 10 см, выполненную с уклоном 3-5% от наружных стен здания.

5.4.9 Физико-механические характеристики плит XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Физико-механические характеристики плит XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON

Показатель	Единица измерения	XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON	
		ECO SP	ECO
1	2	3	4
Прочность на сжатие при 10 %-ной относительной деформации, не менее	кПа	400	Для толщин 20-29 мм: 100 30-39 мм: 150 ≥40 мм: 200
Прочность на сжатие при 2 %-ной относительной деформации, не менее	кПа	200	-
Прочность при изгибе, не менее	кПа	300	Для толщин <30мм: 100 ≥30мм: 200
Модуль упругости	МПа	17,0	17,0
Декларируемая теплопроводность (λ_D), не более	Вт/(м·К)	0,034	0,034
Теплопроводность в условиях эксплуатации (λ_A), не более	Вт/(м·К)	0,035	0,035
Теплопроводность в условиях эксплуатации (λ_B), не более	Вт/(м·К)	0,036	0,036
Водопоглощение по объему, не более	%	0,4	0,4
Водопоглощение при длительном полном погружении образцов на 28 суток, не более	%	0,4	0,22
Коэффициент паропроницаемости	мг/(м·ч·Па)	0,009	0,009
Группа горючести / воспламеняемости	-	Г4/В2	Г4,Г3 / В2
Группа дымообразующей способности /токсичность	-	Д3/Т2	Д3/Т2
Диапазон эксплуатационных температур	°С	От -70 до +75	от -70 до +75
Геометрические параметры (длина/ширина/толщина), в пределах	мм	2360/580/100	1180/580/10-100

6 Требования к обеспечению механической безопасности

6.1 Группы предельных состояний

Обеспечение механической безопасности УШП следует производить в соответствии с [ГОСТ 27751](#) по предельным состояниям, включающим:

- а) предельные состояния первой группы, приводящие к полной или частичной непригодности эксплуатации малоэтажного здания, в частности УШП;
- б) предельные состояния второй группы, затрудняющие нормальную эксплуатацию или уменьшающие долговечность малоэтажного здания по сравнению с предусматриваемым сроком службы.

Соответствие требованиям предельных состояний предусматривает методы численного, компьютерного моделирования и/или прикладные методики аналитического анализа несущих конструкций и основания малоэтажного здания.

6.2 Основные положения по расчётному обоснованию

6.2.1 Расчётные предпосылки и допущения

6.2.1.1 Расчеты должны обеспечивать надежность малоэтажного здания в течение всего срока его службы, а также при производстве работ в соответствии с требованиями, предъявляемыми к ним.

6.2.1.2 Расчеты по предельным состояниям первой группы КЖ УШП включают в себя расчеты по прочности, их следует производить из условия, по которому усилия, напряжения и деформации в конструкциях от различных воздействий с учётом начального напряженного состояния не должны превышать соответствующих значений, установленных нормативными документами (регламентируется [СП 63.13330](#)). Особое внимание следует уделять напряжённо-деформированному состоянию тонкостенной части УШП (между рёбрами).

6.2.1.3 Расчеты по предельным состояниям второй группы КЖ УШП включают расчеты по деформациям и по раскрытию трещин, производятся из условия, по которому ширина раскрытия трещин в бетоне от нагрузок не должна превышать предельно допустимых значений (регламентируется [СП 63.13330](#));

6.2.1.4 Расчёт утеплителя УШП осуществляется его проверкой по первой группе предельных состояний. Проверка заключается в оценке допустимых внутренних усилий в материале утеплителя, соответствующих упругому или близкому к упругому поведению материала. Как правило, не рекомендуется превышение необратимых деформаций свыше 2 %.

6.2.1.5 Расчеты по предельным состояниям первой группы основания УШП включают в себя проверку прочности и устойчивости основания.

6.2.1.6 Расчеты по предельным состояниям второй группы основания УШП, производится из условия, по которому относительные и абсолютные значения осадок УШП не должны превышать соответствующих предельно допустимых значений (регламентируется [СП 22.13330.2016](#), (Приложение Г), для абсолютного значения не более чем 12 см, для относительной разности – 0,002).

6.2.1.7 Анализ механической безопасности и эксплуатационной пригодности для сейсмических районов регламентируется:

- положениями [СП 14.13330](#). При этом следует отметить, что в большинстве случаев рассматриваемое малоэтажное здание будет обладать высокочастотными характеристиками собственных колебаний: так, коэффициент динамичности будет лежать ориентировочно в диапазоне 1,2 – 1,7 в зависимости от геологических условий. Данное положение актуально как для зданий с применением деревянного каркаса, так и каменного.

- для предварительной оценки только каменных зданий – статической теорией сейсмостойкости. Метод заключается в вычислении инерционных характеристик без учёта амплитудно-частотных параметров здания и сейсмического воздействия по формуле

$$S=k_c Q \quad (6.1)$$

где k_c – коэффициент сейсмичности, равный отношению максимального значения ускорения основания к ускорению свободного падения. Так для 7-бальной зоны значение будет составлять $k_c=0,1$;

Q – вес рассматриваемой части сооружения, равный произведению массы части здания на ускорение свободного падения.

Для рассматриваемых типов малоэтажных зданий, у которых в основании залегают грунты с характеристиками, близкими к характеристикам скальных грунтов, необходимо устройство под УШП подушки из насыпного мягкого по сравнению с основанием грунта (например, песчаной) для снижения динамического отклика и инерционных сил конструкций.

6.2.2 Прикладная методика

Прикладная методика определения параметров УШП, в частности несущих КЖ, заключается в выборе решения, удовлетворяющего требованиям механической безопасности без выполнения инженерного анализа методами численного, компьютерного моделирования. Данная методика рекомендуется как предварительная, для оценки объёмов работ.

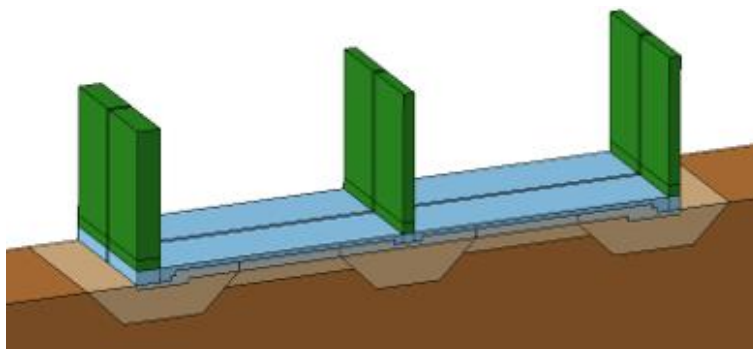
6.2.2.1 Для зданий до двух этажей включительно с применением УШП, в основании которых грунт с минимальными рекомендованными значениями физико-механических характеристик (см. п. 5.3.1), с песчаной подсыпкой толщиной 0,3 м, рекомендуется устройство надземного несущего каркаса только из деревянных конструкций без дополнительных мероприятий. При этом ширина и высота опорной части ребра составляет 0,3 м, а для внутреннего ребра ширина УШП – 0,4 м, высота 0,2 м. При этом ширину ребра рекомендуется принимать не менее ширины стены

6.2.2.2 Для зданий до двух этажей включительно с применением УШП, с каменными несущими стенами и железобетонными перекрытиями, независимо от типа кровли, в основании которых залегает грунт с низкими значениями физико-механических характеристик (характеристики ниже приведенных в п. 5.3.1 настоящего руководства), необходимы дополнительные мероприятия по подготовке основания или частичной замене грунтов основания (рис 6.1, а). Данные решения должны приниматься на основании расчетного обоснования.

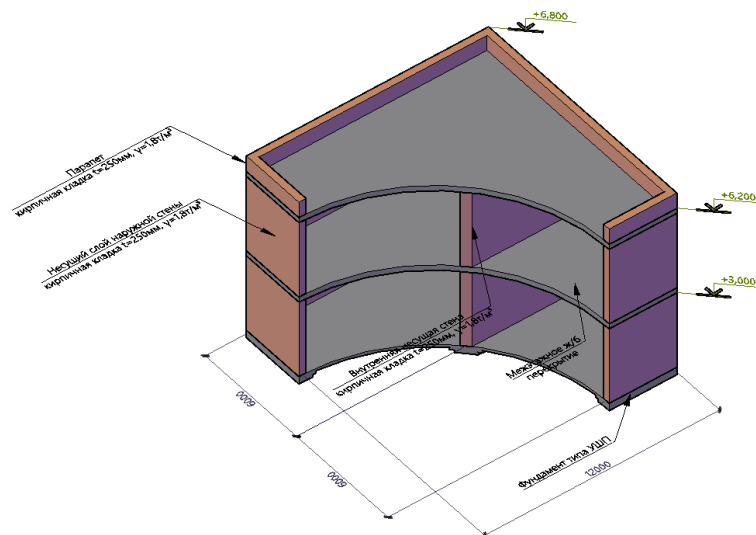
6.2.2.3 Предложенная прикладная методика может быть применена при соблюдении следующих требований:

- для симметричного в плане размещения несущих стен, разница погонной нагрузки на внешние и внутренние ребра не должна превышать 40-60 % (рис 6.1, б);
- для не симметричного в плане размещения несущих стен максимальное смещение планового положения в условиях симметрии внутренней стены не должно превышать 2 м.

Данные требования так же предъявляются к размещению стен и ребер УШП для грунта физико-механическими характеристиками ниже, чем приведенные в п. 5.3.1 настоящего руководства.



а)



б)

Рисунок 6.1 - Пример устройства песчаной подушки под рёбрами (а) и симметричного размещения несущих каменных стен (б)

6.2.2.4 При проектировании УШП под здание с несущими каркасными или каменными стенами на скальном основании, основной проверкой является обеспечение целостности утеплителя УШП. Для проверки производится сбор линейных нагрузок на 1 п.м. ребра УШП, и в зависимости от расположения ребра (внешнее или внутреннее) производится следующая оценка:

– для ребра под внутренней стеной по формуле

$$\sigma_{z,IN} = \frac{0,65 \cdot q_{max}}{B} < R_z ; \quad (6.2)$$

– для ребра под внешней стеной по формуле

$$\sigma_{z,EX} = \frac{0,80 \cdot q_{max}}{B} < R_z , \quad (6.3)$$

где $\sigma_{z,IN}$ и $\sigma_{z,EX}$ – расчётные сжимающие напряжения в утеплителе под ребром УШП на участках под внутренней и внешней стеной соответственно;

q_{max} – расчётная максимальная нагрузка на 1 п.м;

B – ширина ребра, принимаемая согласно рисунку 6.2:

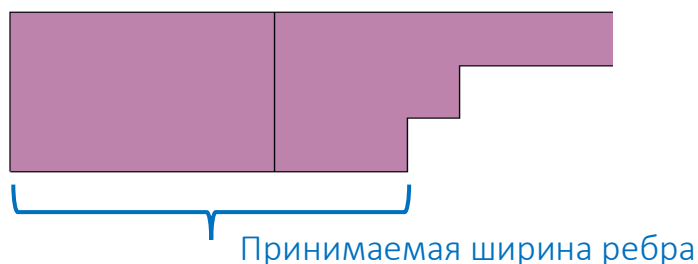


Рисунок 6.2

R_z – расчётное сопротивление сжатию утеплителя;

0,65 и 0,8 – коэффициенты учета распределения давления по утеплителю за зоны основного контакта под нагрузкой соответственно для внутренней и внешних стен. Для сложных объёмно-планировочных и конструктивных решений данные коэффициенты нуждаются в дополнительной проверке / подтверждении (проведении дополнительных).

6.2.2.5 При действии сосредоточенных сил в местах тонкостенной части УШП, обязателен расчёт участка на продавливание и при необходимости увеличение толщины участка по формуле

$$N_s \leq F_{b,ult} = R_{bt} \cdot u \cdot h_0 \quad (6.4)$$

где N_s – расчётное значение сосредоточенной силы;

$F_{b,ult}$ – предельное усилие, воспринимаемое бетоном;

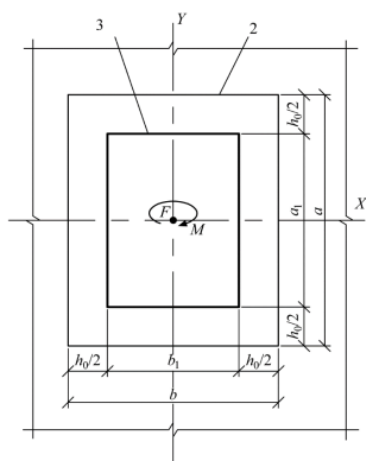
R_{bt} – расчётное сопротивление бетона на растяжение;

h_0 – приведенная рабочая высота сечения $h_0 = 0,5(h_{0x} + h_{0y})$;

u – периметр контура расчётного поперечного сечения;

h_{0x} и h_{0y} – рабочая высота сечения в направлении осей X и Y ;

На рис 6.3 представлена схема согласно положениям [СП 63.13330](#).



Здесь:

2 – Контур расчётного поперечного сечения;

3 – контур площадки приложения нагрузки.

Рисунок 6.3

6.2.2.6 С целью исключения возникающих узловых моментов в точках опирания надземных конструкций на УШП рекомендуется исключать заделку конструкций в УШП в зоне ребер. На тонкостенных участках заделка несущих конструкций в УШП категорически запрещена. В случае необходимости применения жестких узлов сопряжения УШП и надземных конструкций следует производить расчётное обоснование таких узлов.

6.2.2.7 При невыполнения условия прочности на продавливание, необходимо увеличить толщину тонкостенной части УШП. При этом контур участка с увеличенной толщиной должен отступать от контура грузовой площади на величину, равную толщине этого участка во все стороны (см. приложение Б, рисунок Б.9).

6.2.3 Основные принципы инженерного анализа

В данном разделе руководства описаны основные принципы и порядок действий, при применении инженерного анализа в проектировании УШП, в частности применение методов компьютерного моделирования и анализа конечно-элементных моделей. С практическим примером данного анализа можно ознакомиться в приложении А настоящего Руководства.

6.2.3.1 В качестве основного инструмента инженерного анализа при проектировании УШП рекомендуется применение широко распространённых специализированных ПК инженерного анализа.

6.2.3.2 Для выполнения инженерного анализа УШП требуются следующие исходные, минимально необходимые, данные:

а) географическое расположение участка строительства, на основании которого определяются:

- климатические характеристики района строительства;
- численные значения нагрузок и воздействий, в данном случае наибольшую актуальность имеют снеговое и ветровое воздействия;
- результаты инженерно-геологических изысканий, включая данные о гидрогеологических условиях (сейсмичность площадки необходимо проверять согласно [СП 14.13330](#));

б) проектные решения строящегося малоэтажного здания с фундаментом типа УШП, на основании которых определяются:

- конструктивная схема здания (рекомендуется бескаркасная, с несущими и самонесущими стенами): материал вертикальных несущих конструкций, перекрытий и покрытия (кровли);
- состав несущих и ненесущих конструкций, необходимых также для сбора нагрузок на УШП;
- качественные параметры распределения снеговой и ветровой нагрузок на малоэтажное здание.

6.2.3.3 Прежде чем выполнять инженерный анализ, необходимо произвести анализ инженерно-геологических условий участка строительства. При характеристиках оснований, не ниже приведенных в п. 5.3.1 настоящего руководства, отсутствии специфических грунтовых условий, отсутствии сейсмичности площадки

строительства, геометрической простоты объёмно-планировочных решений и компоновки УШП (см. п. 6.2.2.3), можно рассмотреть применение прикладной методики, предложенной в п. 6.6.2. При неудовлетворении любому из перечисленных требований, требуется производить инженерный анализ.

6.2.3.4 В зависимости от конструктивной схемы в качестве первой итерации инженерного анализа рекомендуется принимать условия, описанные в прикладной методике, а именно габариты несущих элементов КЖ УШП, параметров песчаной подушки.

6.2.3.5 Перед выполнением инженерного анализа, производится сбор нормативных и расчётных значений нагрузок с учётом регламентированных нормативно-правовыми актами коэффициентов надёжности. При этом, при расчёте УШП малоэтажного здания ветровое воздействие допускается не учитывать.

6.2.3.6 При сборе погонных нагрузок с плит перекрытия и кровли, для простых форм рекомендуется применять грузовые площади, представленные на рисунке 6..

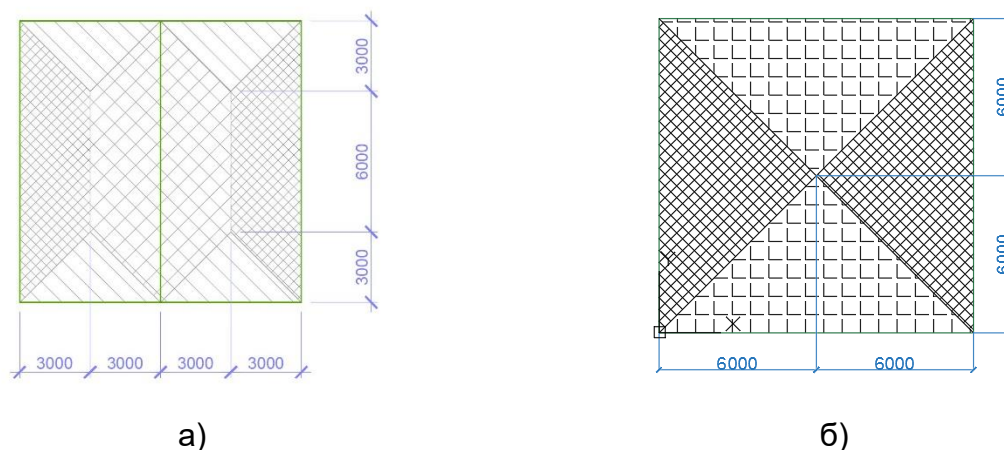


Рисунок 6.4 – Пример грузовых площадей для монолитных плит перекрытий и покрытия (а) и для многоскатного покрытия (б)

6.2.3.7 На основании полученных максимальных погонных нагрузок на рёбра УШП, и принятых решений на этапе первой итерации, в частности ширины ребра, производится оценка несущей способности утеплителя под рёбрами УШП. При невыполнении требований, приведенных в п. 6.2.2.4 настоящего руководства, ширина ребра увеличивается или обосновывается в нелинейном инженерном анализе.

6.2.3.8 Учёт инженерно-геологических условий допускается осуществлять при помощи коэффициентов постели C_1 , вычисляемых в ПК инженерного анализа. При отсутствии нелинейных эффектов в утеплителе и его толщине не более 20 см, допускается его учёт в качестве инженерно-геологического элемента

6.2.3.9 Производимое описание в ПК инженерно-геологической ситуации должно быть достаточным для корректного построения модели грунтового основания с последующим вычислением коэффициентов постели.

6.2.3.10 После описания инженерно-геологической ситуации, как правило, выполняется разработка конечно-элементной модели КЖ УШП. В данном случае рекомендуется использовать оболочечные элементы для тонкостенной части УШП и рёбер, допустимо применение балочных элементов для рёбер при корректном подходе вычисления коэффициента постели на одномерные элементы рёбер. Для данных элементов назначаются соответствующие правила подбора армирования и проверки прочности бетонной части конструкции.

6.2.3.11 При бескаркасной конструктивной схеме (с несущими продольными и поперечными стенами из каменных конструкций) выполняется моделирование с учетом жесткости надземных конструкций, для анализа УШП достаточно учитывать жесткость одного этажа. Физико-механические характеристики каменных конструкций принимаются согласно [СП 15.13330](#).

6.2.3.12 Полученные при сборе нагрузок погонные нагрузки, назначаются в зависимости от конструктивной схемы непосредственно на рёбра УШП или на надземные конструкции.

6.2.3.13 При расчете армирования КЖ УШП, рекомендуется производить два типа расчетов: с учетом жесткости надземных конструкций для оценки армирования в тонкостенной части и без учета жесткости надземных конструкций (с приложением нагрузки на рёбра УШП) для оценки требуемого армирования в рёбрах УШП. Анализ требуемого армирования обеспечивает выполнение требований по первой и второй группам предельных состояний для КЖ УШП.

6.2.3.14 При анализе сосредоточенных сил выполняется ручная проверка обеспечения прочности сечения по продавливанию в случае наличия таких нагрузок в зоне тонкостенной части. Расчет выполняется в соответствие с требованиями [СП 63.13330](#). При наличии сосредоточенных сил на рёбрах УШП, их пересечении, проверка продавливания выполняется с учётом поперечного армирования и конструкции рёбер.

6.2.3.15 Оценка максимальных вертикальных перемещений производится на основании регламентированных предельных значений абсолютных и относительных значений согласно [СП 22.13330](#) и выполнение этих требований является обязательным для обеспечения целостности наземных конструкций.

6.3 Требования к конструкциям и основаниям УШП

6.3.1 Железобетон

6.3.1.1 При выполнении конструктивных требований следует руководствоваться требованиями раздела 10 [СП 63.13330.2018](#), если иное не оговорено в настоящем Руководстве.

6.3.1.2 Подбор состава бетонной смеси производят для получения бетона, соответствующего характеристикам, описанным в разделе 5.1.

6.3.1.3 Арматура должна быть установлена в опалубочные формы с предусмотренной надёжной фиксацией, гарантирующей проектное положение при производстве работ и выполнение конструктивных требований, предъявляемых к арматуре.

6.3.1.4 Размеры сечений должны обеспечивать необходимую величину защитного слоя КЖ УШП с учётом подобранного армирования. Минимальное значение для участков, находящихся в грунте, без дополнительных защитных мероприятий, следует устанавливать 40 мм, для остальной части – не менее 25 мм.

6.3.1.5 По необходимости, для верхней и нижней грани тонкостенной части рекомендуется установка в два ряда оцинкованных сеток из проволоки диаметром 2 мм и ячейкой 25 мм, для улучшения устойчивости бетона к температурно-усадочным процессам и раскрытию трещин. Защитный слой до сетки в данном случае рекомендуется 5 – 10 мм.

6.3.1.6 Расстояние в свету, для основной рабочей, стержневой арматуры должно быть не менее 50 мм.

6.3.1.7 Для поперечной арматуры рёбер УШП, следует применять арматуру диаметром не менее 6 мм.

6.3.1.8 Максимальный диаметр отверстий допустимых в рёбрах УШП составляет 100 мм. Отверстия с диаметром большего размера следует устраивать в тонкостенной части УШП. При пересечении проёмом армирования, выполнить восполнение по контуру проёма диаметрами вырезанного армирования, а в случае пересечения проёмом торцевого армирования ребра – выполнить уширение участка на ширину отверстия и на длину анкеровки восполненного армирования.

6.3.1.9 Как правило, рёбра УШП подвержены действию крутящих моментов, следовательно, хомуты поперечного армирования должны быть замкнуты. Данное решение также улучшает включение в работу полной группы продольного армирования.

6.3.1.10 Рекомендуется устройство промежуточных, дополнительных рёбер жёсткости в составе УШП шагом 5 - 6 м. Шаг ребер, равный 5 м, рекомендуется

применять при площади участка более 36 м² и протяженности участка более 12 м. При меньшей площади и протяженности участка допускается шаг ребер принимать равным 6 м. Подробнее см. в приложение Б настоящего руководства.

6.3.1.11 Применение композитного армирования допускается при советующем расчётом обосновании. Особое внимание необходимо обращать на возможность конструктивного исполнения решений УШП и трещиностойкости конструкций с учётом допускаемых значений раскрытия трещин при применении композитной арматуры.

6.3.1.12 Принципиальные схемы армирования КЖ УШП представлены в приложении Б настоящего руководства.

6.3.2 Основания

6.3.2.1 При выполнении требований по устройству основания (см. раздел 5.3) следует руководствоваться требованиями [СП 45.13330](#), если иное не оговорено в настоящем Руководстве.

6.3.2.2 Толщина подготавливаемых песчаных подушек под УШП должна быть не менее 30 см.

6.3.2.3 Песчаная подушка должна быть подготовлена с коэффициентом уплотнения не ниже 0,95. Под значением коэффициента уплотнения принято считать отношение достигнутой плотности сухого грунта к максимальной плотности сухого грунта, полученной в приборе стандартного уплотнения по [ГОСТ 22733](#).

6.3.2.4 Контроль уплотнения рекомендуется выполнять методом режущих колец по [ГОСТ 12248.10](#), [ГОСТ 5180](#). Допускается применение других методов (с применением динамических и статических плотномеров) с погрешностью (в том числе инструментальной) определения коэффициента уплотнения, близкой к рекомендованному методу.

6.3.2.5 По завершению уплотнения грунта, должен быть произведён контроль качества выполненного уплотнения лабораторными испытаниями или непосредственно испытаниями на площадке строительства в соответствие с требованиями [ГОСТ Р 70260](#), [ГОСТ 22733](#), [ГОСТ 28514](#), [ГОСТ 30672](#).

6.3.2.6 Для специфических грунтов и площадок строительства в особых условиях, а также для сейсмических районов, руководствоваться положениями [СП 22.13330](#), [СП 45.13330](#), [СП 435.1325800](#), при этом применение прикладной методики при проектировании исключается, пока не будут выполнены соответствующие исследования по этой теме.

6.3.2.7 При устройстве УШП на мерзлых основаниях рекомендуется его прогрев на глубину не менее 500 мм с сохранением положительной температуры. Данное основание должно быть тщательно защищено от повторного замерзания.

7 Требования к производству работ

7.1 Уход за бетоном

7.1.1 Уход за твердеющим бетоном должен обеспечить достижение им требуемых нормируемых показателей качества в промежуточном и проектном возрасте. При уходе за твердеющим бетоном необходимо руководствоваться указаниями раздела 10 [СП 435.1325800.2018](#).

7.1.2 Выдерживание бетона УШП, в процессе набора его прочности, следует поддерживать в температурно-влажностном режиме, способствующем набору минимальной прочности, необходимой для распалубки. Данные мероприятия необходимо выполнить немедленно после укладки бетонной смеси в опалубку.

7.1.3 Свежеуложенный бетон необходимо предохранять от испарения воды, а также предотвращать попадание на него атмосферных осадков и прямого попадания солнечных лучей. Защита открытых поверхностей бетона должна быть осуществлена в течение срока, обеспечивающего приобретение бетоном прочности не менее 70 % проектного уровня.

7.1.4 Благоприятные температурно-влажностные условия обеспечиваются регулярным увлажнением бетона.

7.1.5 Движение людей по уложенному бетону допускается после набора прочности на сжатие бетона 2,5 МПа.

7.1.6 При необходимости прогрева бетона для более быстрого набора прочности, необходимо следить за температурным градиентом по площади УШП, не допускать существенных перепадов температур, которые могут привести к нежелательным температурным напряжениям и возникновению трещин. При этом максимальная рекомендуемая температура прогрева не более 60 °С.

7.1.7 Допускается применение ускорителей твердения и цементы с повышенным тепловыделением при необходимости получения заданной прочности в ранние сроки.

7.1.8 При бетонировании в условиях ожидаемой среднесуточной температуры ниже 5 °С, во избежание раннего замораживания, необходимо применять противоморозные добавки с контролем их максимального применения на 1 м³. В общем случае масса применяемых добавок не должна превышать 5% от общей массы цемента в смеси.

7.1.9 При бетонировании в условиях ожидаемой среднесуточной температуры выше 25 °С и влажности менее 50 %, рекомендуется вводить замедлители

схватывания и твердения. Добавление воды не допускается при восстановлении подвижности бетонной смеси.

Для приготовленной бетонной смеси без добавок, продолжительность укладки регламентируется в зависимости от температуры бетонной смеси согласно таблице 7.1.

Таблица 7.1

Температура смеси, °С	Допустимое время укладки, мин
25	30-60
30	15-30
35	10-15

7.1.10 При достижении температуры смеси более 35 °С необходима немедленная её укладка в опалубку.

7.1.11 При появлении на поверхности свежеложенного бетона трещин в течении 1 часа после укладки, допускается его поверхностное вибрирование до начала схватывания.

7.2 Распалубка

7.2.1 Съёмная опалубка УШП должна соответствовать требованиям, при которых не допускается повреждения при распалубке. При этом необходимо отметить, что для тонкостенной части данное требования является приоритетным.

7.2.2 Распалубку следует осуществлять при наборе прочности бетона не менее 70% от проектной прочности. При соответствующем обосновании, допускается распалубка при минимальном значении прочности 50% от проектного.

7.2.3 Для приблизительной оценки времени, через которое допускается распалубка, можно воспользоваться соответствующими зависимостями, представленными в технической литературе или на рисунке 7.1.

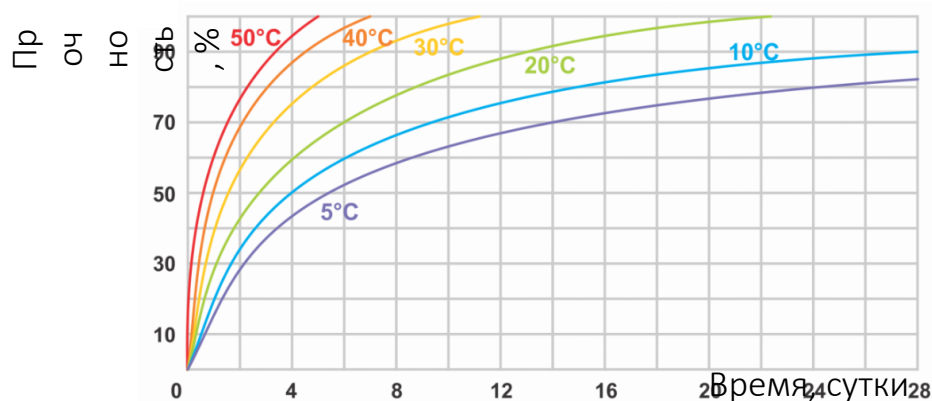


Рисунок 7.1

7.2.4 Для снижения риска повреждения поверхности и защитного слоя бетона при распалубке, рекомендуется лицевую поверхность опалубки обрабатывать

специальными составами, не влияющими на свойства бетона. Так для деревянной опалубки допускается применение известкового молока, меловой эмульсии, для металлической – отработанного машинного масла.

7.2.5 При распалубке в зимнее время, рекомендуется устройство временных отапливаемых шатров или иные методы прогрева поверхности подвергающейся распалубке.

7.3 Контроль качества

7.3.1 Контроль качества работ осуществляется на этапах установки опалубки и арматурного каркаса в проектное положение, приготовления и укладки бетонной смеси, выдержке бетона, распалубке и приёмке УШП.

7.3.2 На различных этапах контроля качества бетона при устройстве УШП рекомендуется проводить периодический визуальный осмотр, вести наблюдения за набором прочности бетона с применением неразрушающих методов контроля (ультразвуковых по [ГОСТ 17624](#), неразрушающих механических по [ГОСТ 22690](#). Также допускается применение методов испытания бетона «отрыв, «скалывание ребра» и «отрыв со скалыванием» по [ГОСТ 22690](#) при условии восстановления поврежденного участка сразу после завершения испытания.

7.3.3 При отсутствии возможности проведения неразрушающего контроля прочности бетона, допускается контроль прочности по контрольным образцам, изготовленным на месте укладки смеси, при эквивалентных условиях твердения, в соответствии с требованиями [ГОСТ 10180](#).

7.3.4 Для опалубки, при контроле качества, оценке отклонений, местных неровностей рекомендуется руководствоваться положениями [ГОСТ 34329](#). Показатель допустимых отклонений для опалубки следует назначать из размеров сечения выдерживаемой формы. Так для сечений большего размера, требования к точности и геометрическим отклонениям опалубки будут менее строгими. Допускается согласование максимального отклонения со стороны Заказчика на строительство здания.

7.3.5 Максимальное смещение армирования, в частности арматурных стержней для УШП, не должно превышать значения в 25 % от диаметра стержня, а также не более 5 мм.

7.3.6 Приёмку КЖ УШП после снятия опалубки следует осуществлять путём оценки соответствия выполненных конструкций проекту: соответствия геометрических размеров, физико-механических характеристик материалов несущей конструкции.

Приложение А

(справочное)

Пример инженерного анализа УШП

А.1 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.

Объёмно-планировочные решения будущего малоэтажного дома представлены на рисунке А.1.

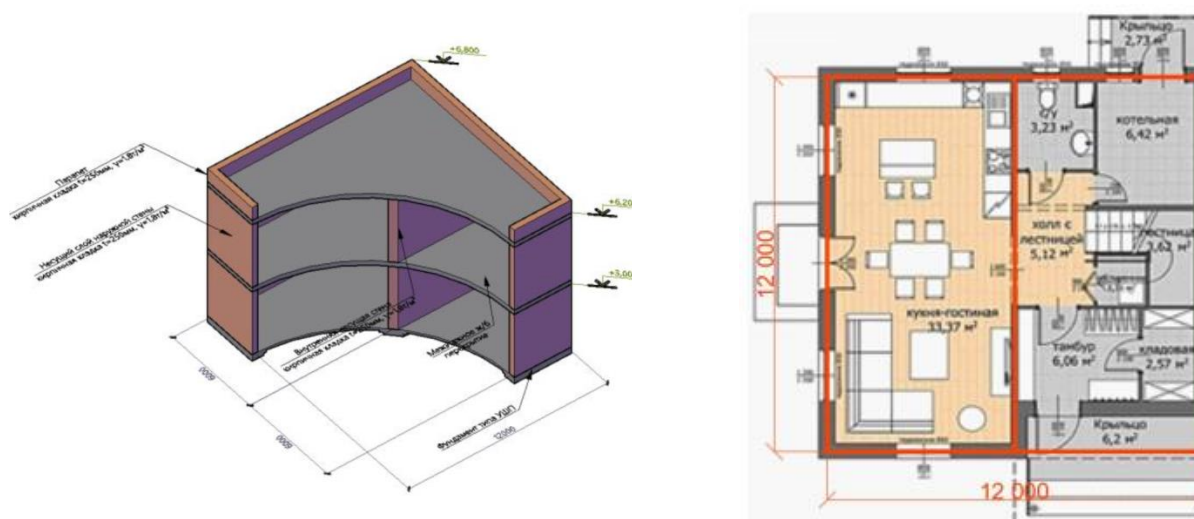


Рисунок А.1 – Слева: принципиальная схема малоэтажного дома для инженерного анализа; справа – план первого этажа с контуром вертикальных несущих конструкций

Вертикальные несущие конструкции являются каменными, с облицовочным кирпичом. Плиты перекрытия и покрытия из монолитного железобетона. Плита покрытия выполняет функцию кровли-террасы. Все железобетонные конструкции выполняются из класса бетона В20 и армированы стальными стержнями класса А400 и А240. Состав внешних и внутренних несущих стен описывается в сборе погонных нагрузок на УШП.

Габаритные размеры УШП в плане 12х12 м. Основной частью УШП является тонкостенная часть по всей площади, толщиной 10 см. По периметру УШП, под внешними несущими стенами в составе УШП устраиваются рёбра шириной 750 мм и высотой 300 мм. Ребро под внутренней стеной (вдоль цифровых осей), принимается, исходя из минимальных требований для рассматриваемой конструктивной схемы, 600 мм шириной и 200 мм высотой.

Так как несущие стены здания являются каменными, в первой итерации инженерного анализа для песчаной подушки необходимо применять минимальные условия, близкие к описанным в прикладной методике (см. раздел 6.2).

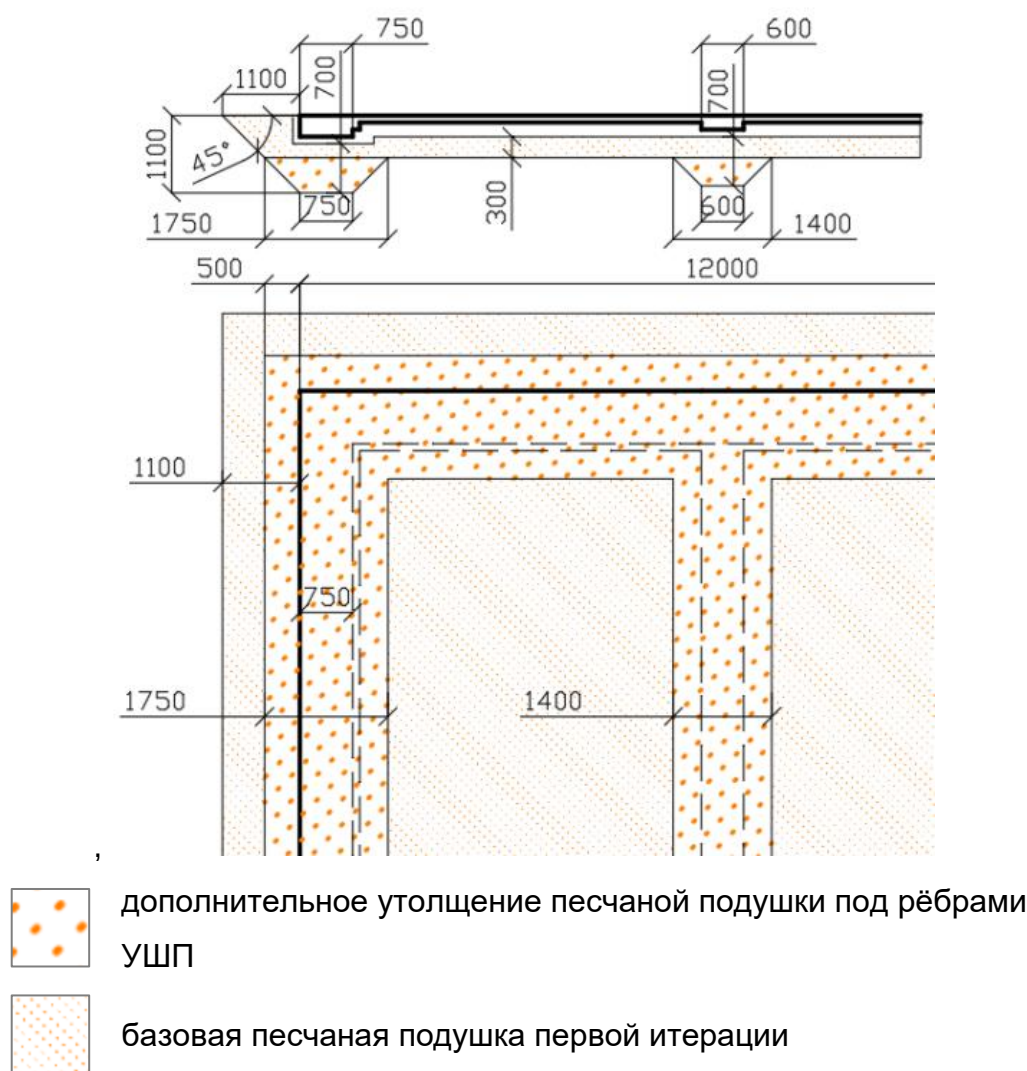


Рисунок А.2 – Рекомендуемые параметры песчаной подушки УШП в первой итерации для каменных вертикальных несущих стен

A.2 Сбор нагрузок

Нагрузки и воздействия принимаются строго в соответствии с регламентированными требованиями [СП 20.13330](#).

Так как конечно-элементная модель будет представлять модель УШП с учетом жесткости надземных конструкций, то принимается во внимание следующая особенность назначения нагрузок:

1 Нагрузки, действующие в уровне пола УШП, задаются непосредственно в модели и представляют собой равномерно распределённые нагрузки с нормативным значением 150 кН/м^2 , что соответствует нагрузке 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 УШП, принимается длительная часть с коэффициентом 0,35.

2 Нагрузка от наземных конструкций с учетом их жесткости учитывается непосредственно конечно-элементной моделью этих конструкций с учётом решений по фасаду и задаётся в явном виде в программном комплексе.

Также необходимо отметить, что для анализа УШП составляющая от ветровых нагрузок мала по сравнению с другими нагрузками, поэтому допускается её не учитывать. Данное положение не распространяется на проверку несущей способности элементов фасада и кровли, а также их узлов, где ветровая нагрузка (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](#) и не менее, чем в настоящем примере (см. таблицы А.1 – А.8).

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

№	Описание состава	Плотность, кг/м ³	Расход, кг/м ²	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 А.2 - Сбор нагрузок на 1 п.м внутренней стены от собственного веса.

№	Описание состава	Плотность, кг/м ³	Расход, кг/м ²	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 А.3 - Сбор нагрузок на 1 м² межэтажной плиты перекрытия.

№	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	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 (керомагранитная 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 А.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 А.5 - Сбор нагрузок на 1 п.м внутренней стены, с кровли-террасы

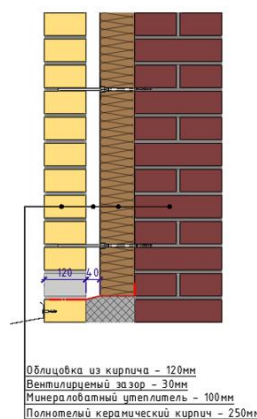
Описание	Нормативная нагрузка, кг/м	γ _f	Расчетная нагрузка, кг/м
В углу	0	1,148	0
Через 3 м	4875,41		5597,64
Через 6 м	4875,41		5597,64

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

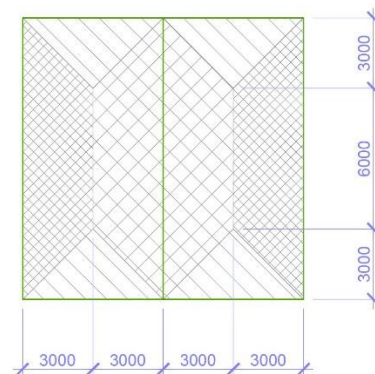
Описание	Нормативная нагрузка, кг/м	γ _f	Расчетная нагрузка, кг/м
В углу	0	1,148	0
Через 3 м	2437,71		2798,82
Через 6 м	2437,71		2798,82

Для плоской кровли-террасы снеговая нагрузка принимается равномерной по всей площади, нормативные значения 200 кг/м², расчётное 280 кг/м² (условие

$$h < \frac{S_0}{2} = 1(0,6 < 1) \text{ из } \text{СП 20.13330}.$$



а)



б)

Рисунок А.3 – Пример данных для сбора нагрузок:

состав внешних несущих стен (а), грузовые площади перекрытия и покрытия(б)

Таблица А.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	1,4	0
Через 3 м	1200		1680
Через 6 м	1200		1680

Таблица А.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	1,4	0
Через 3 м	600		840
Через 6 м	600		840

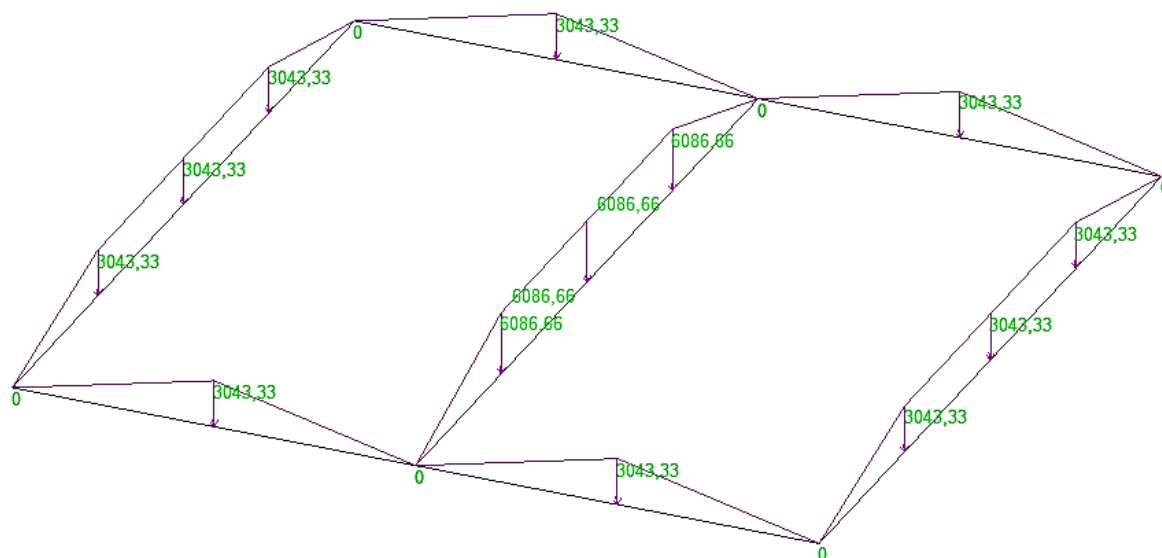


Рисунок А.4 – Распределение линейных нагрузок, собранных с железобетонного перекрытия. Форма распределения нагрузок обусловлена произведением нагрузок с площади на ширину грузовой площади: так в углу данное значение составляет 0, от 1/4 до 3/4 части грузовой площади – 3 метра, в соответствии с рисунком А.3 б.

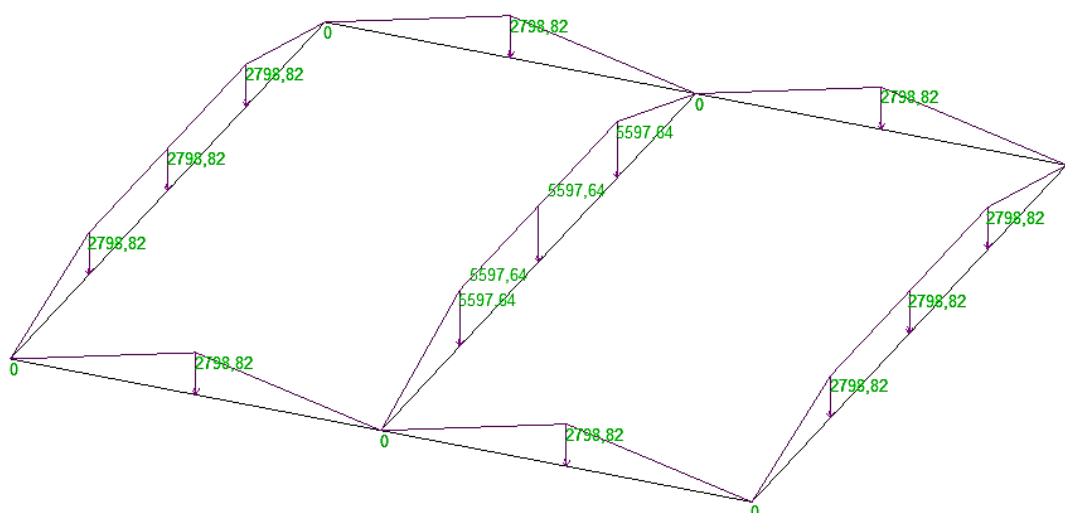


Рисунок А.5 – Распределение линейных нагрузок, собранных с кровли-террасы. Правила формирования нагрузок аналогичны правилам для перекрытия

После сбора нагрузок, производится предварительная оценка достаточности ширины ребра УШП, 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 для обеспечения несущей способности. Для внутреннего ребра необходима ширина не менее 600 мм. Проверка несущей способности:

– для ребра под внутренней стеной:

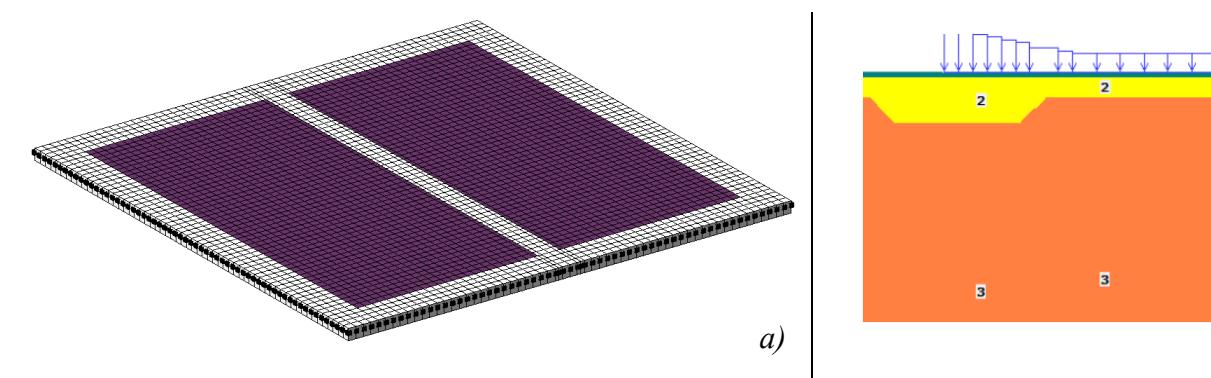
$$\sigma_{z,IN} = \frac{0,65 \cdot 16,74}{0,6} = 18,14 < 20 \text{ т/м}^2 \text{ (условие выполнено)}$$

– для ребра под внешней стеной:

$$\sigma_{z,EX} = \frac{0,80 \cdot 11,41}{0,75} = 12,17 < 20 \text{ т/м}^2 \text{ (уловие выполнено)}$$

А.3 Разработка конечно-элементной модели

Разработка конечно-элементной модели производится с применением специализированного программного обеспечения. Габаритные размеры конечно-элементной модели соответствуют объёмно-планировочным решениям: 12х12 м. В первой итерации для корректной оценки напряжённо-деформированного состояния тонкостенной части и упругого основания, моделирование рёбер рекомендуется выполнять оболочечными элементами и эксцентриситетом по оси в соответствии с проектом. После вычисления коэффициентов постели данные участки рёбер заменяются на стержневые элементы, по которым контрольно вычисляются поперечные силы и изгибающий момент. Рекомендуемый диапазон характерного размера конечного элемента – 10-20 см.



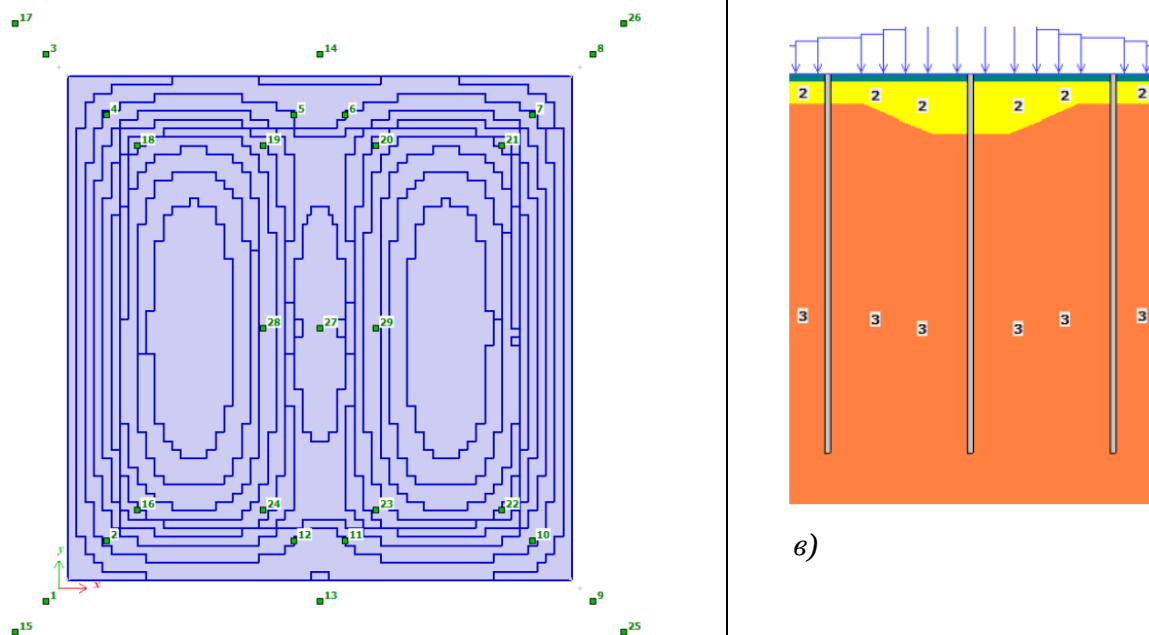


Рисунок А.6 – а). КЭ-модель расчётной ситуации для УШП (стены скрыты); б) и в). Пример к требованиям по минимальному количеству и расположению скважин (описание геологической ситуации для вычисления коэффициентов постели)

А.4 Результаты расчёта и интерпретация

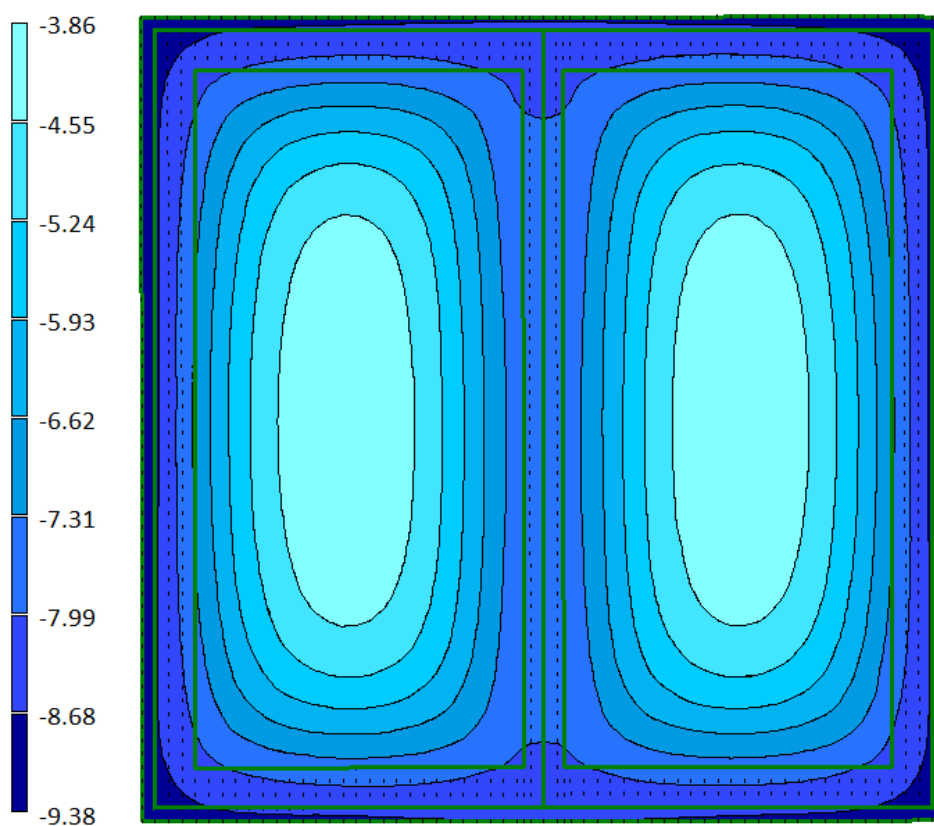


Рисунок А.7 – Изополя вертикальных перемещений с учётом надземных конструкций, мм. Максимальные ожидаемые вертикальные перемещения ≈ 10 мм.

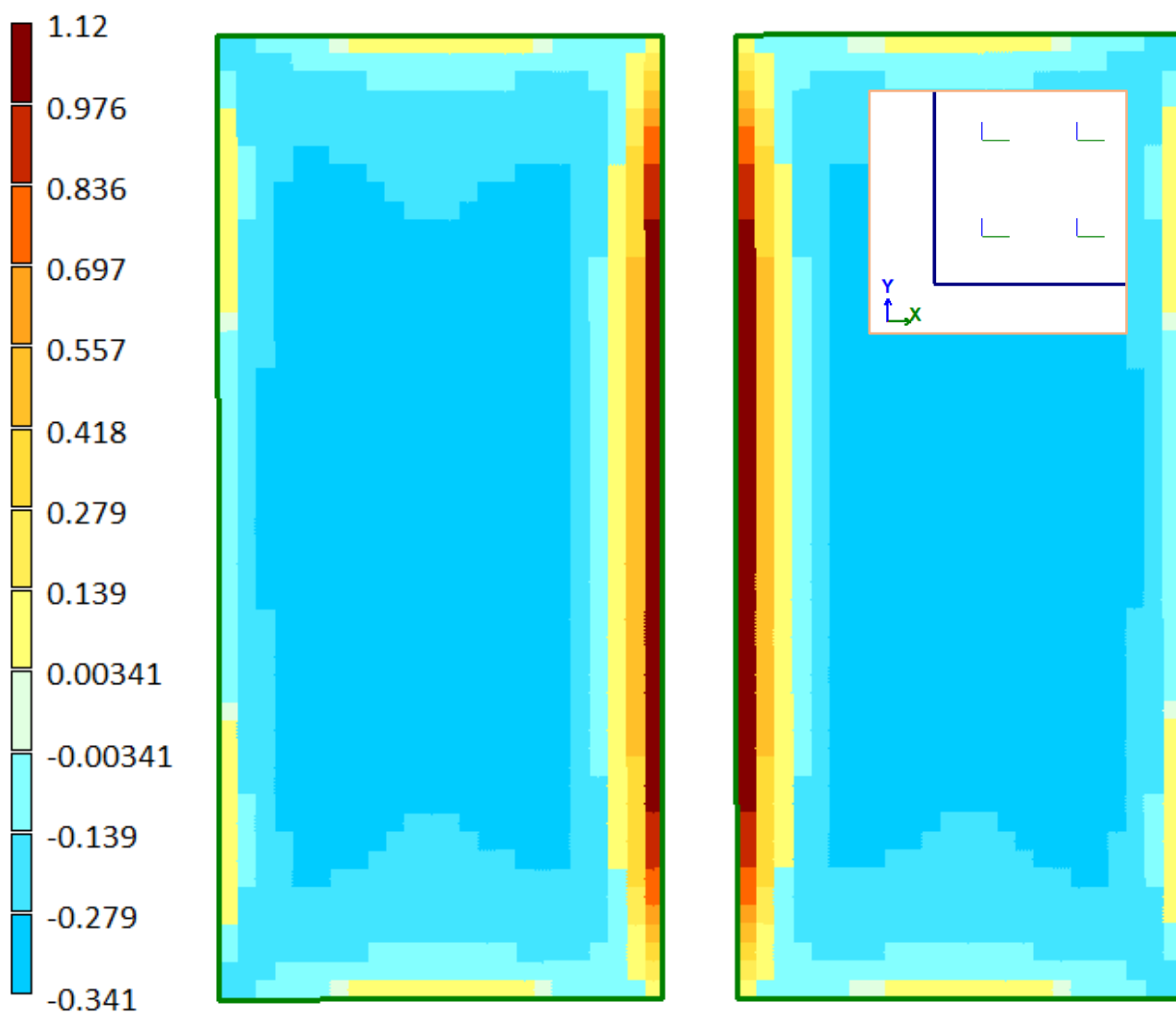


Рисунок А.8 – Мозаика изгибающих моментов M_x по направлению локальных осей x , (т·м)/м. Тонкостенная часть УШП, нагружение с учетом жесткости надземных конструкций. Максимальные моменты под центральной частью (нижнее волокно). В углу – правило локальных осей для КЭ

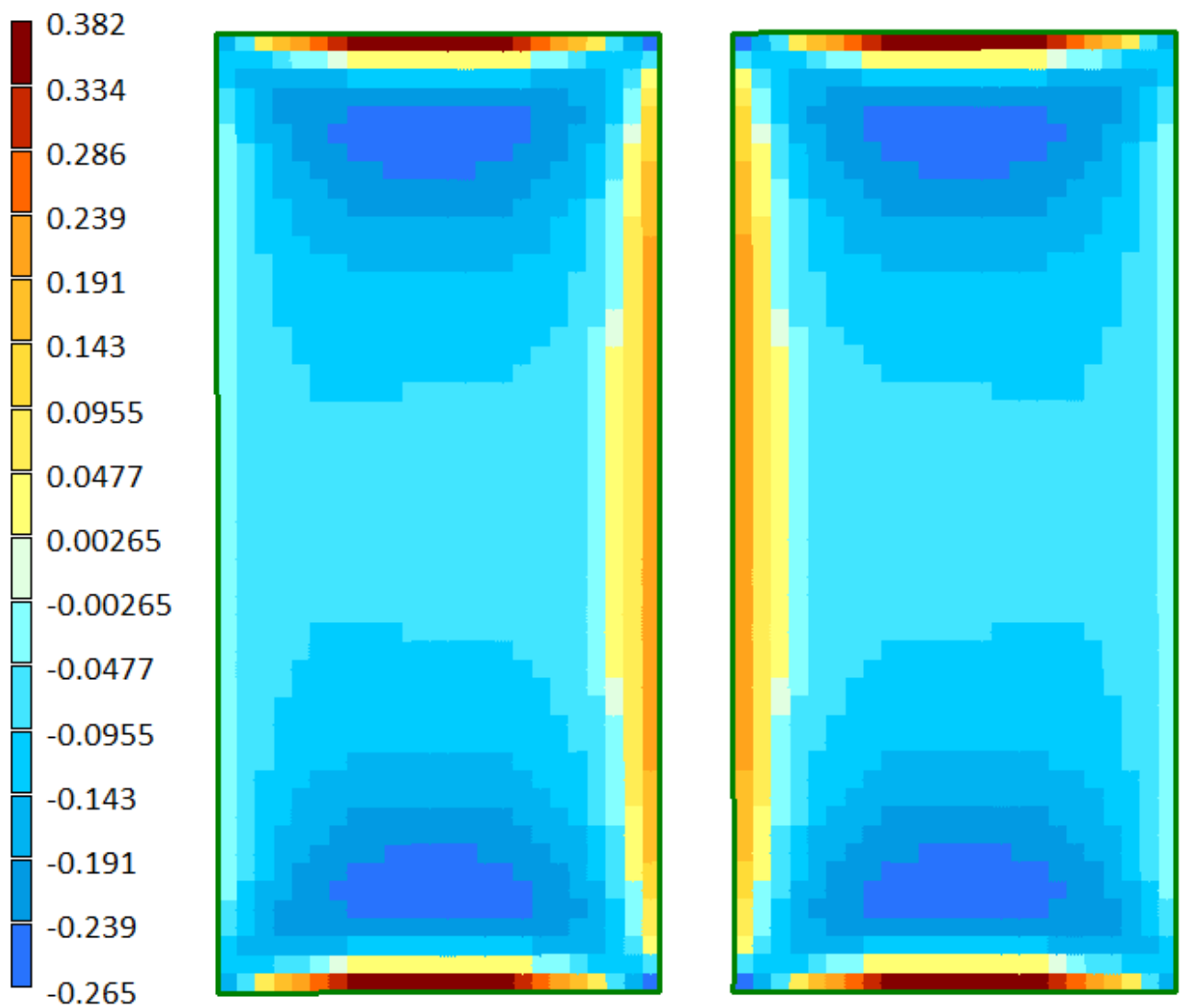


Рисунок А.9 – Мозаика изгибающих моментов M_y по направлению локальных осей y , $(\text{т} \cdot \text{м})/\text{м}$. Тонкостенная часть УШП, нагружение с учетом жесткости надземных конструкций. Максимальные моменты под внешней стеной, обоснованная в том числе передачей нагрузок с центральной части

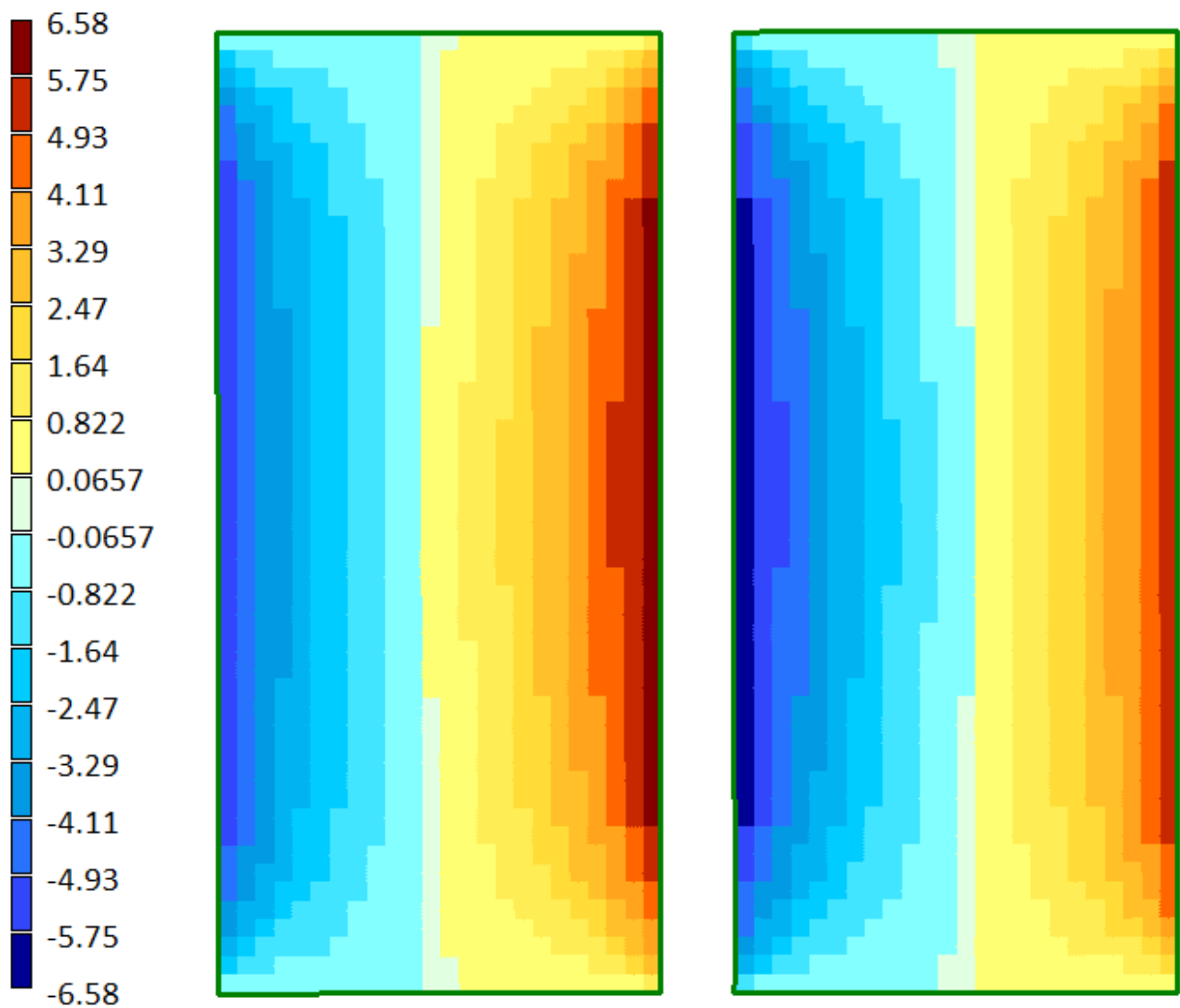


Рисунок А.10 – Мозаика поперечных сил Q_x по направлению локальных осей x , т/м.
Тонкостенная часть УШП, нагружение с учетом жесткости надземных конструкций.
Максимальные поперечные силы под центральной частью

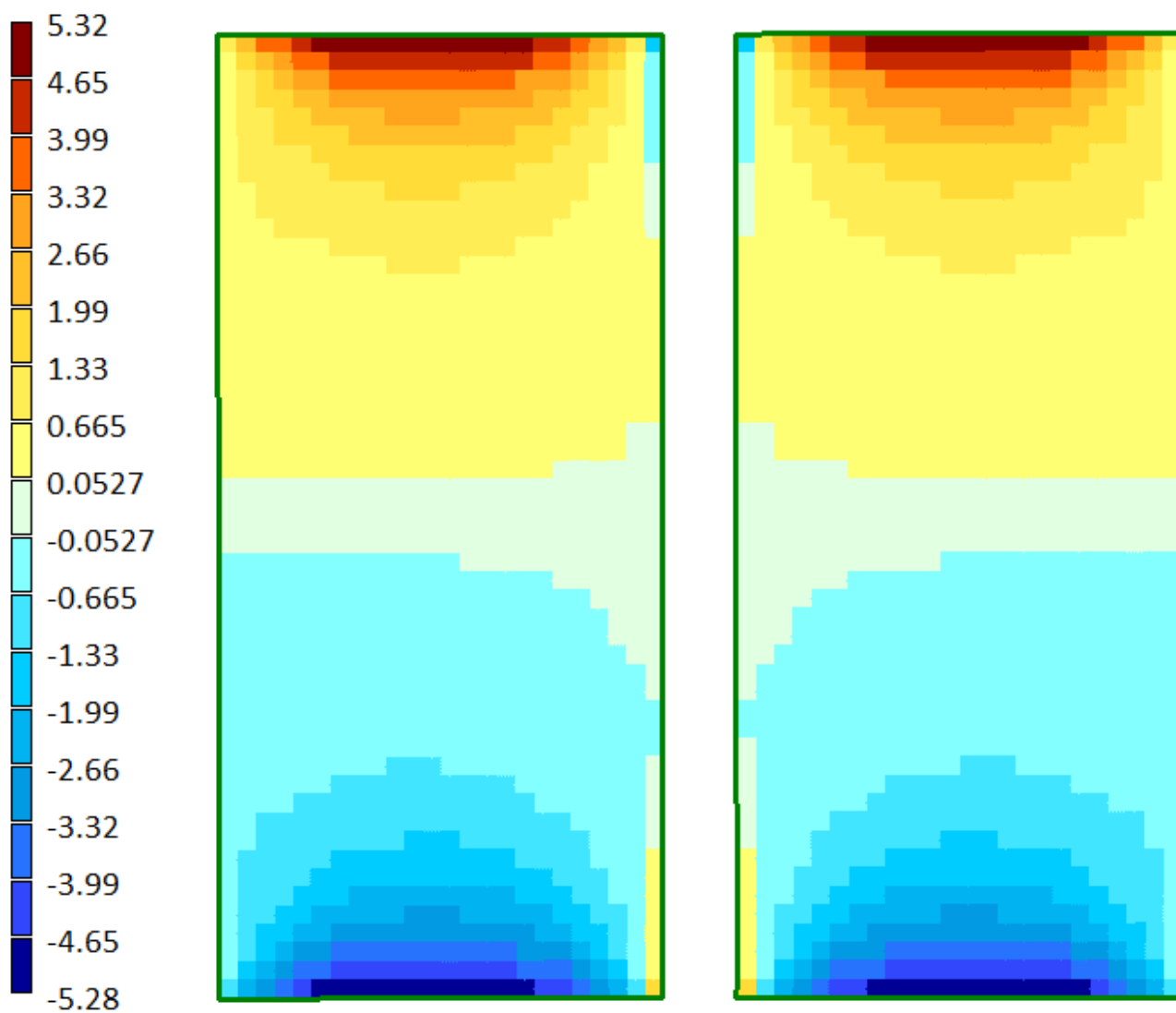


Рисунок А.11 – Мозаика поперечных сил Q_y по направлению локальных осей y , т/м.
Тонкостенная часть УШП, штамповая нагрузка нагружение с учетом жесткости надземных конструкций. Максимальные поперечные силы под внешней стеной

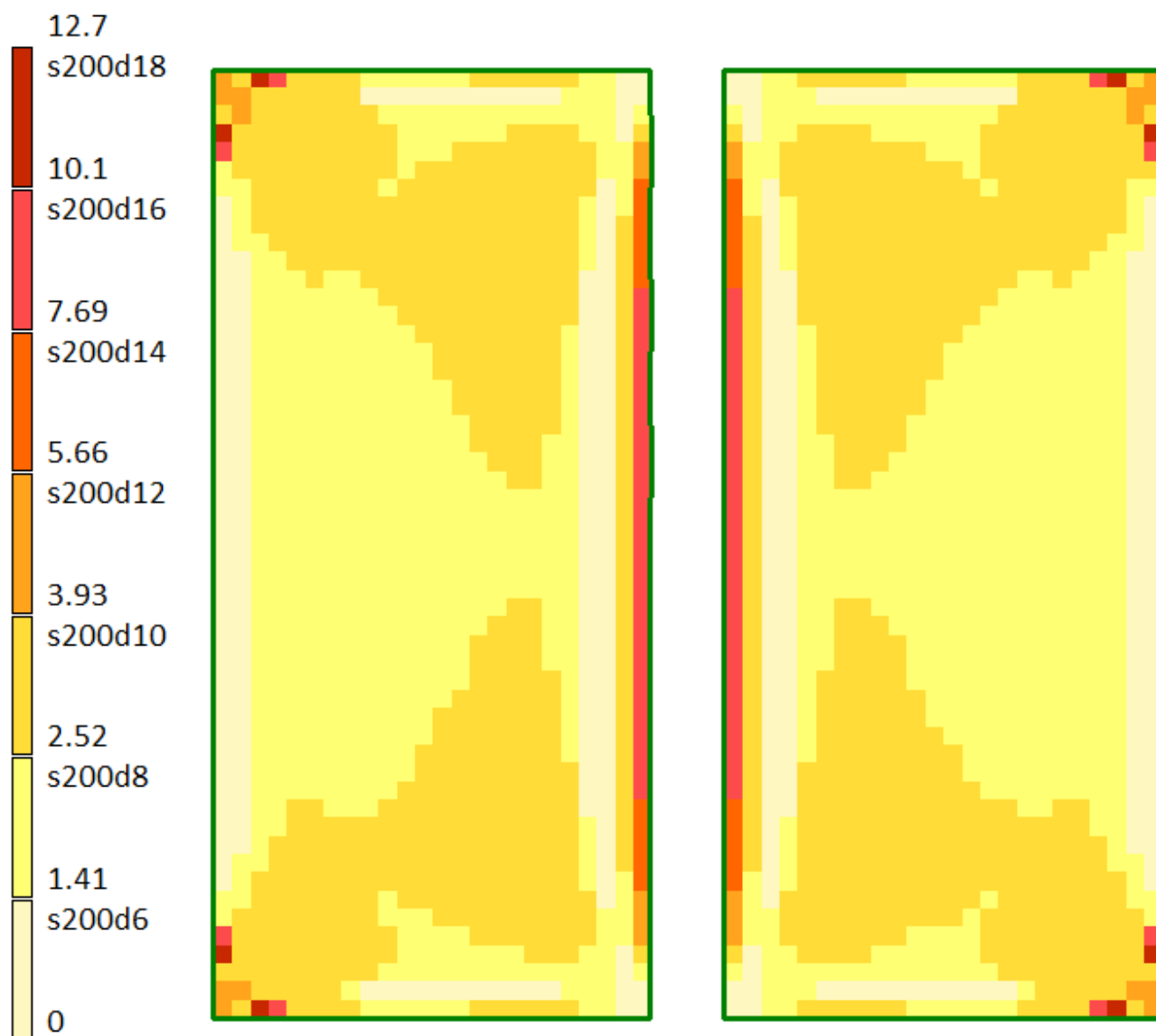


Рисунок А.12 – Мозаика требуемого армирования по центральному волокну по направлению локальных осей x , $\text{см}^2/\text{м}$. Рекомендуемое фоновое армирование шагом 200 $\varnothing 10$, A400. Дополнительное армирование, с учётом интерпретации локальных концентраторов и всплесков усилий, стержнями шагом 200 $\varnothing 12$, A400 на центральном участке под внутренней стеной. Бетон класса В20

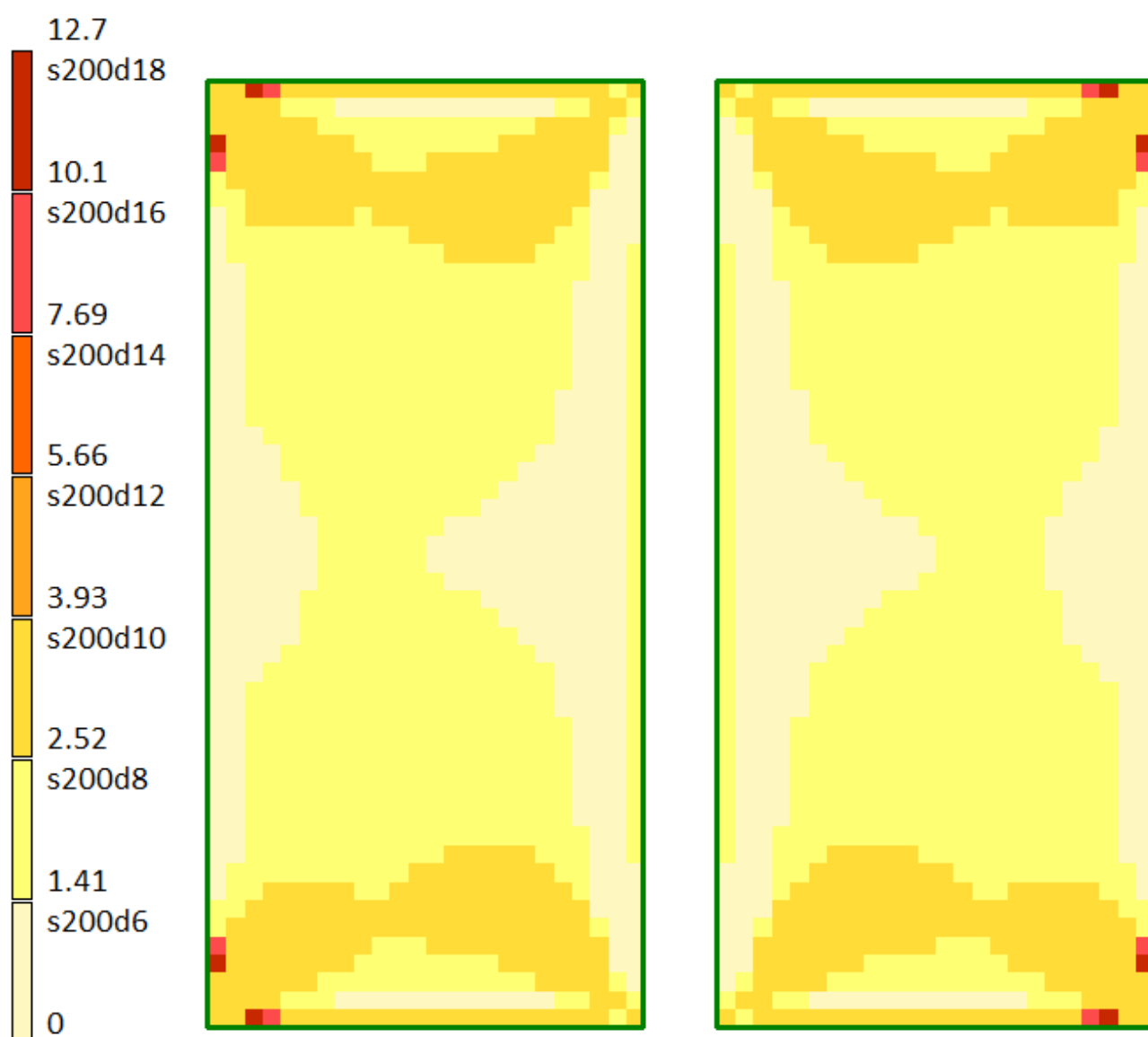


Рисунок А.13 – Мозаика требуемого армирования по центральному волокну по направлению локальных осей y , $\text{см}^2/\text{м}$. Рекомендуемое фоновое армирование шагом 200 $\varnothing 10$, A400. Бетон класса В20

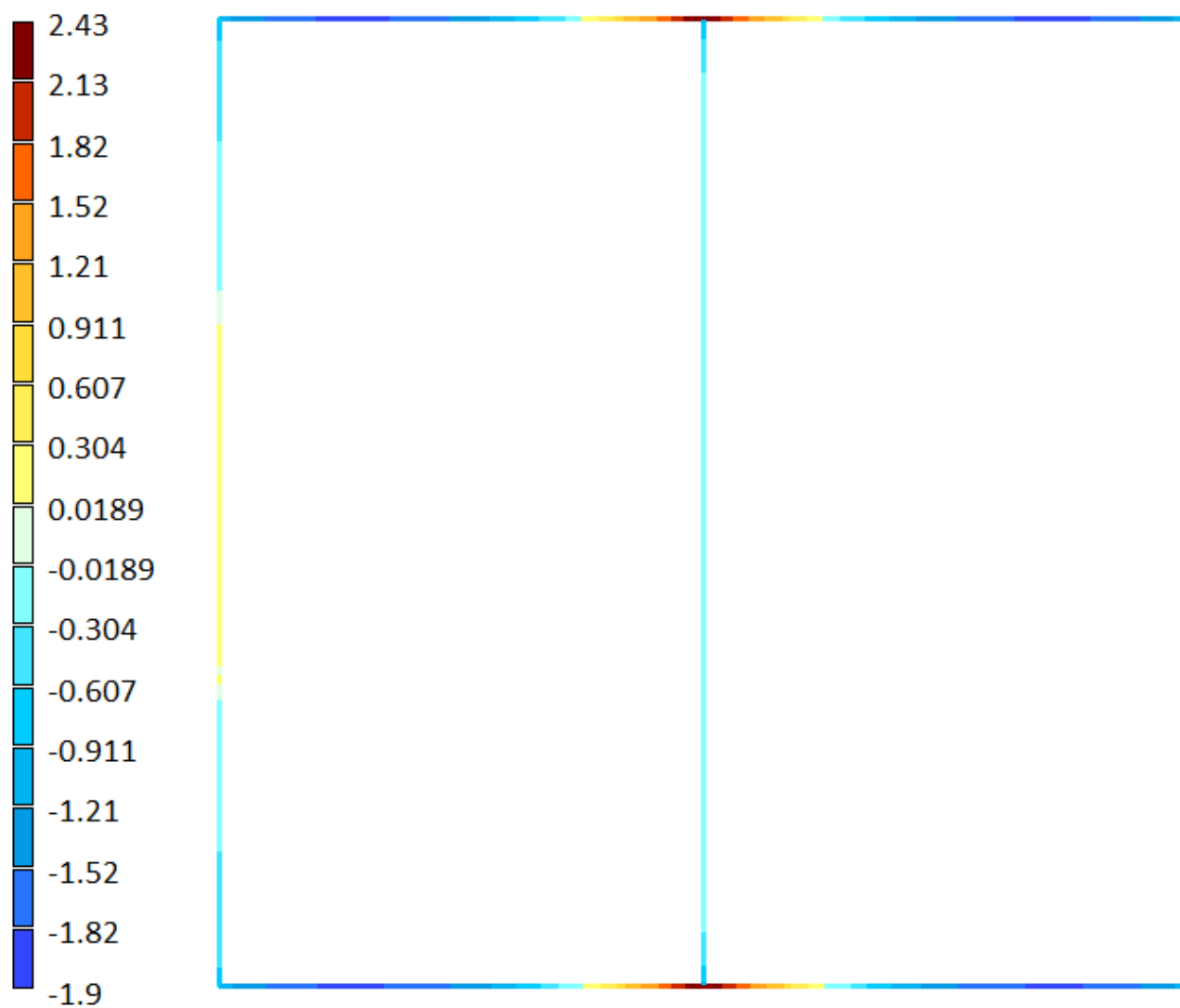


Рисунок А.14 – Мозаика крутящего момента M_y в рёбрах УШП, т·м. Результаты без учёта жёсткости надземных несущих конструкций. Максимальные изгибающие моменты на стыке внутреннего и внешнего ребра

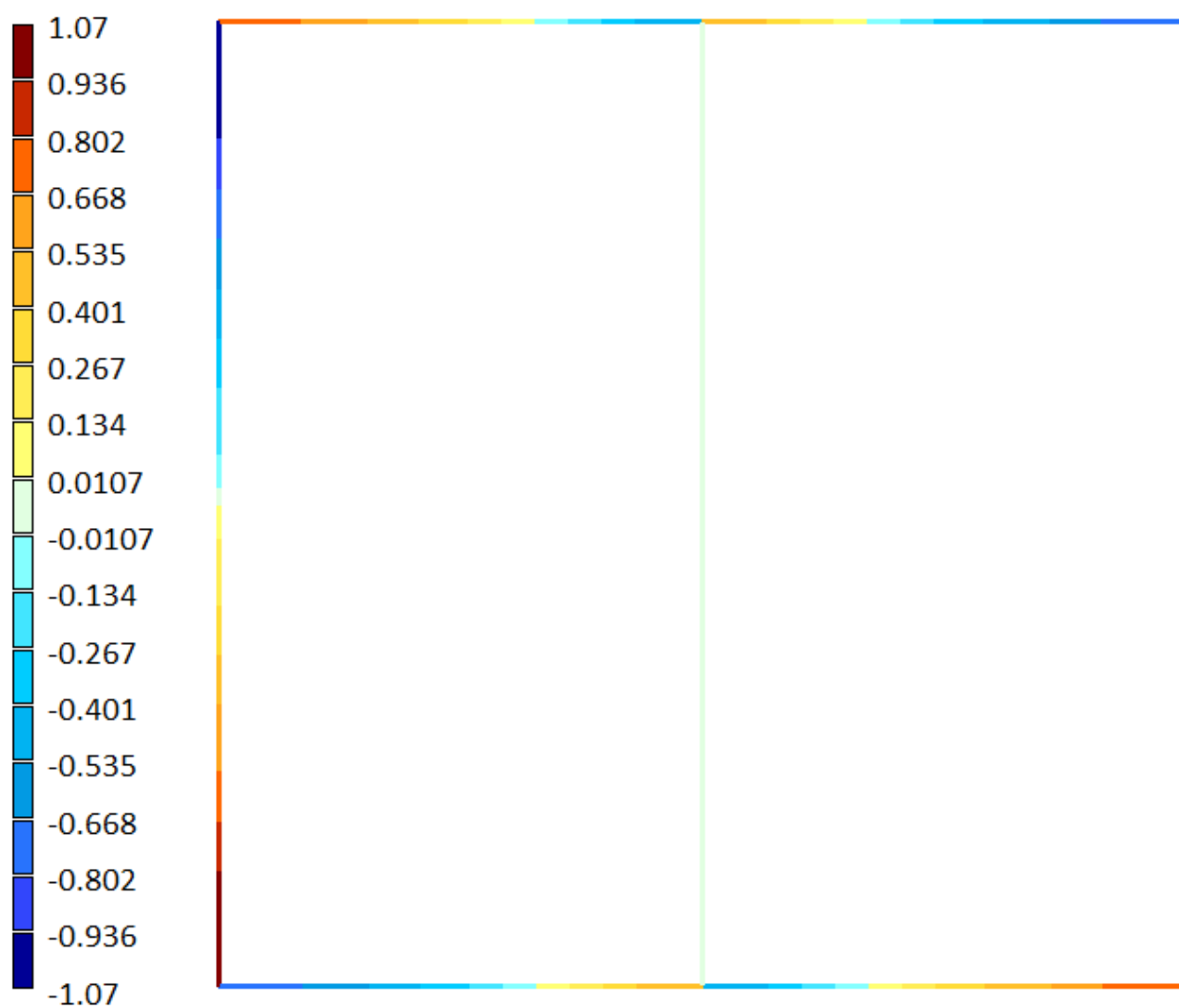


Рисунок А.15 – Мозаика крутящего момента M_x в рёбрах УШП, т·м. Результаты без учёта жёсткости надземных несущих конструкций. Максимальные изгибающие моменты на стыке внешних ребер

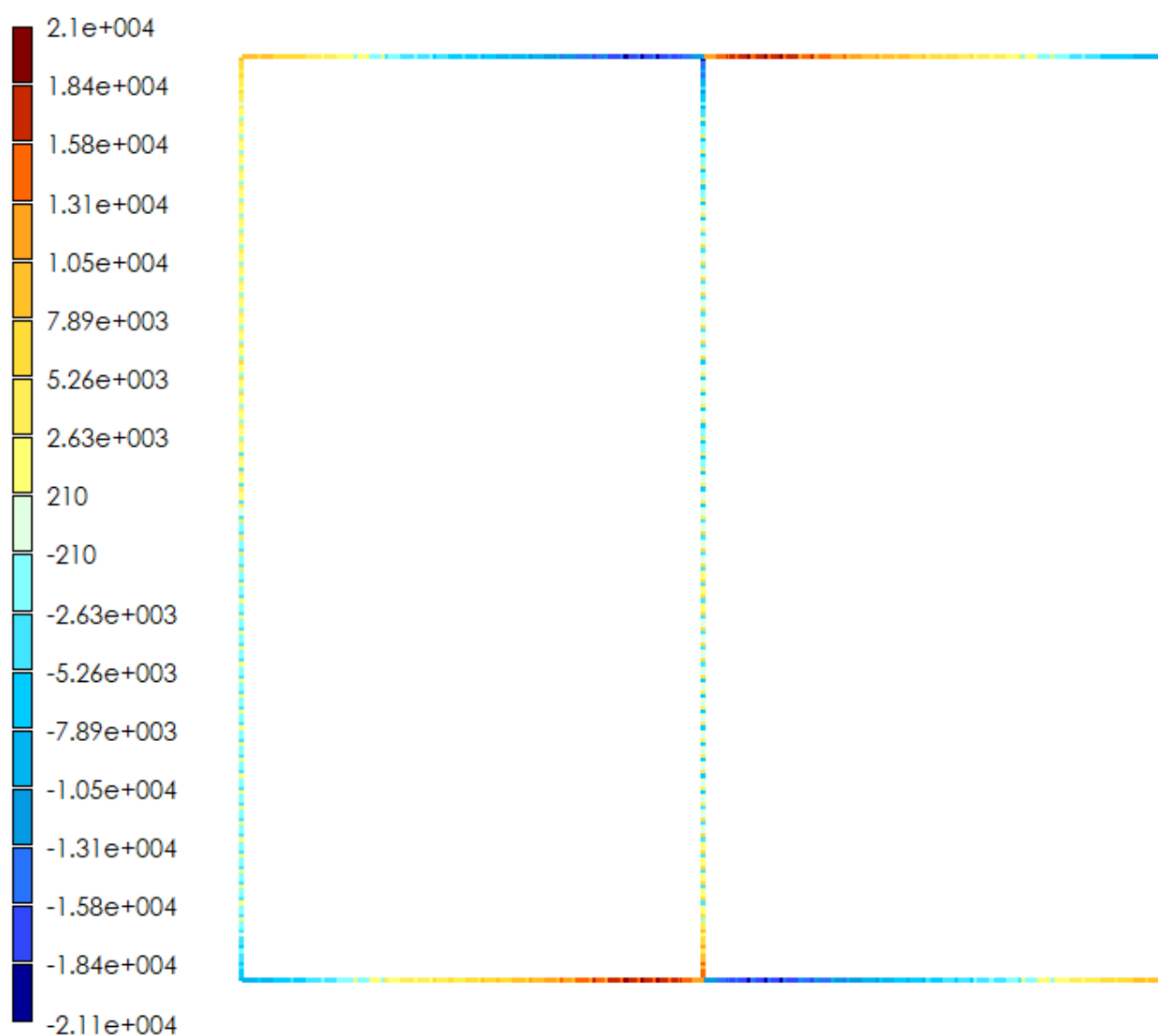


Рисунок А.16 – Мозаика поперечных сил Q_z в рёбрах УШП, т. Результаты без учёта жёсткости надземных несущих конструкций. Максимальные поперечные силы на стыке внутреннего и внешнего ребра

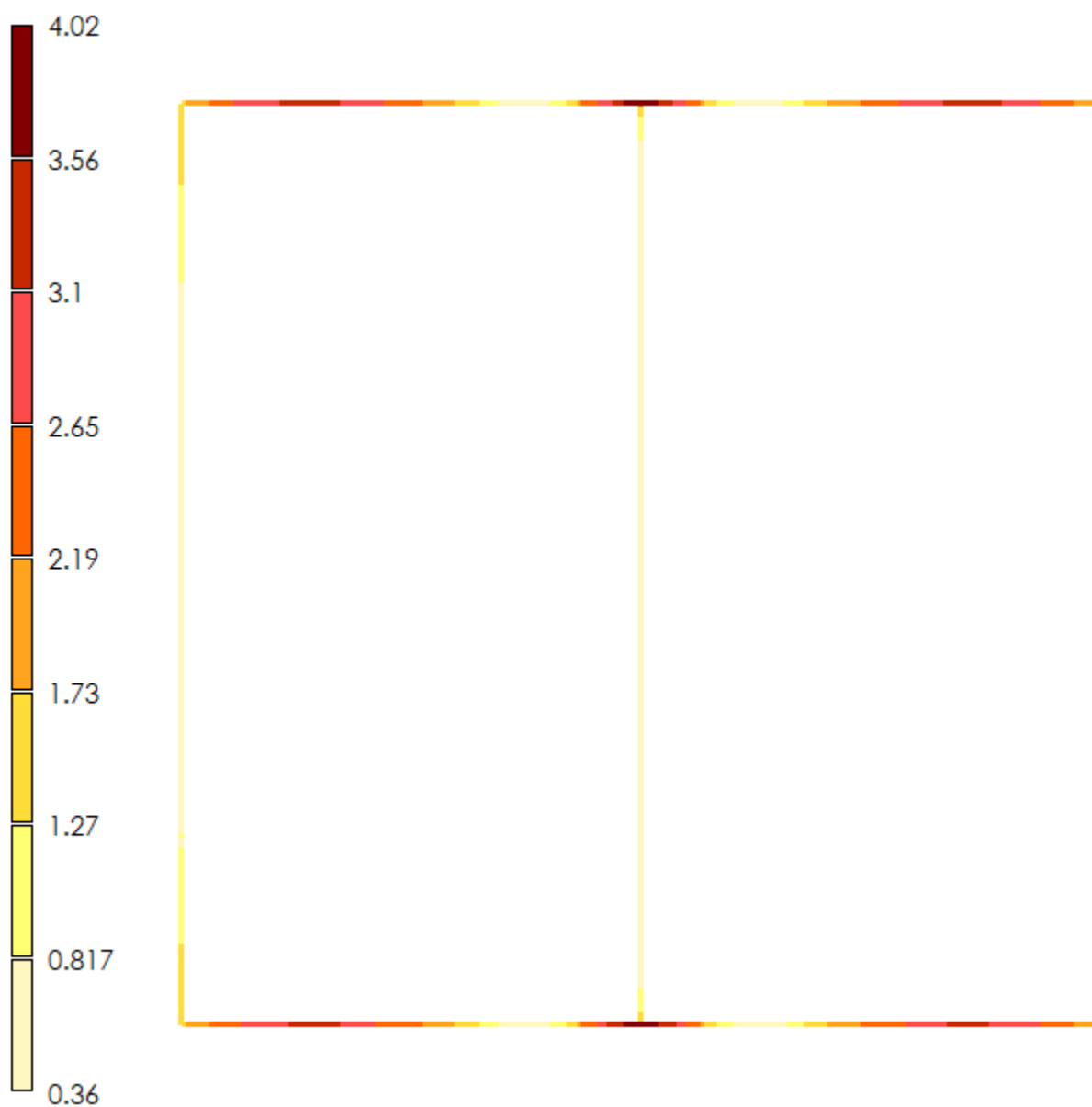


Рисунок А.17 – Огибающая мозаика требуемого армирования в рёбрах УШП, для нижней грани, cm^2 . Бетон класса В20. Для верхней грани армирование эквивалентно.

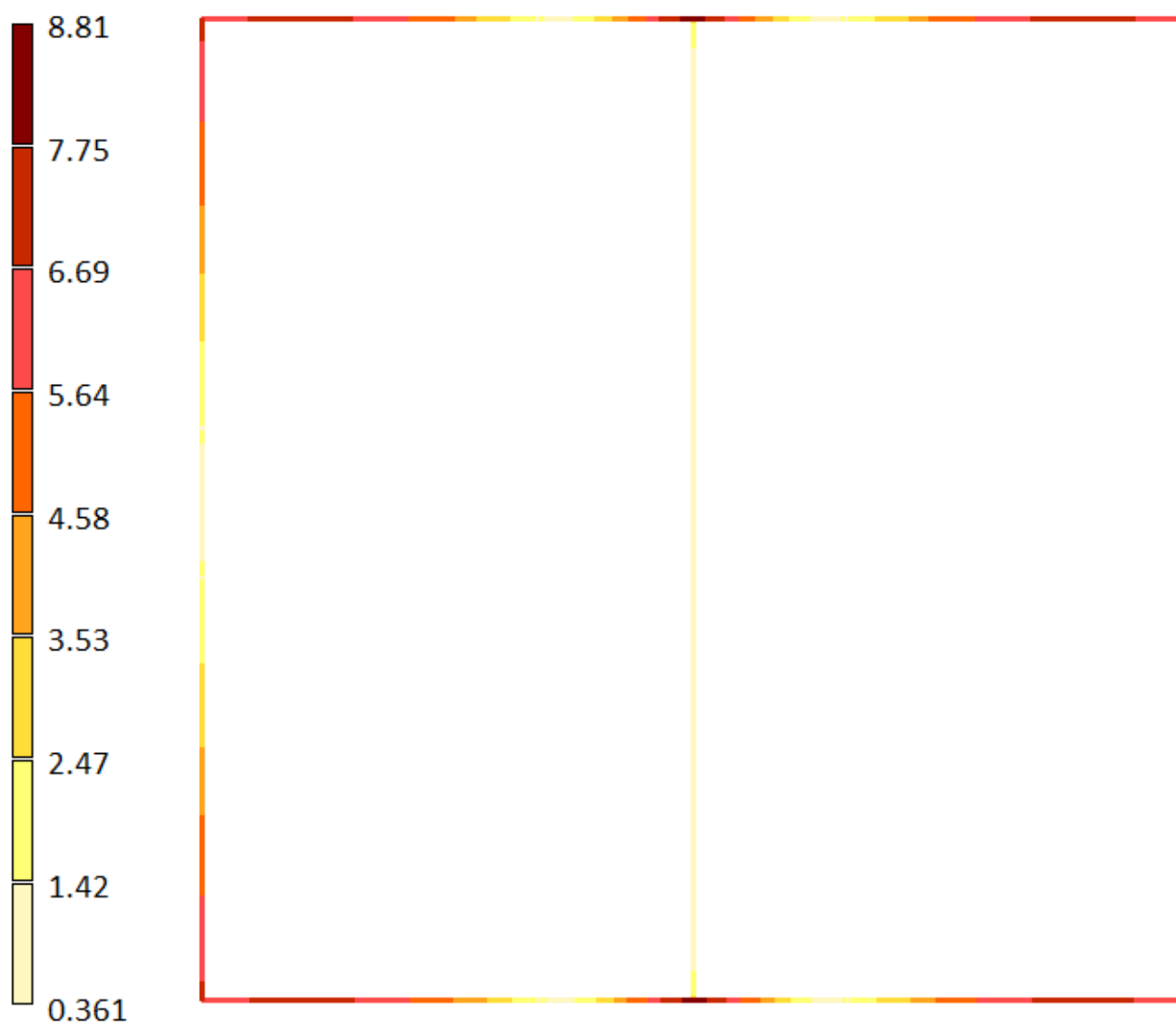


Рисунок А.18 – Огибающая мозаика требуемого поперечного армирования в рёбрах УШП, см^2 . Бетон класса В20

Заключение по произведённому инженерному анализу:

Для обеспечения механической безопасности, нормальной эксплуатации УШП, выполнения требований по первой и второй группам предельных состояний, предъявляемых нормативно-правовыми актами, необходимо выполнить следующее:

1 Ожидаемые значения максимальных вертикальных перемещений составляют 1 см (допустимые значения 12 см согласно [СП 22.13330](#)). 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 УШП достаточно для передачи нагрузок на утеплитель.

3 Принять бетон класса В20, а армирование класса А400 (основное рабочее армирование) и А240 (поперечное армирование).

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 под 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.

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

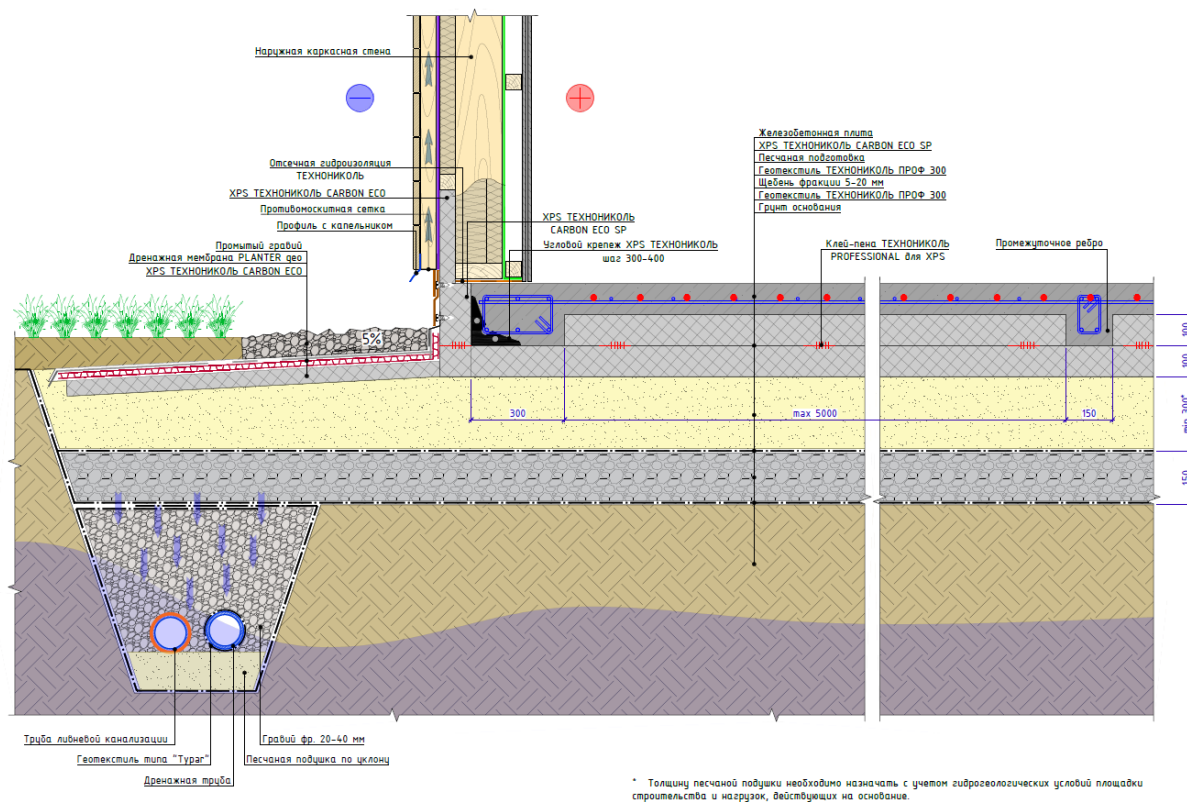


Рисунок Б.2.1 – Схема комплексного решения наружного несущего ребра высотой 200 мм с применением L-блоков опалубки (каркасный дом)

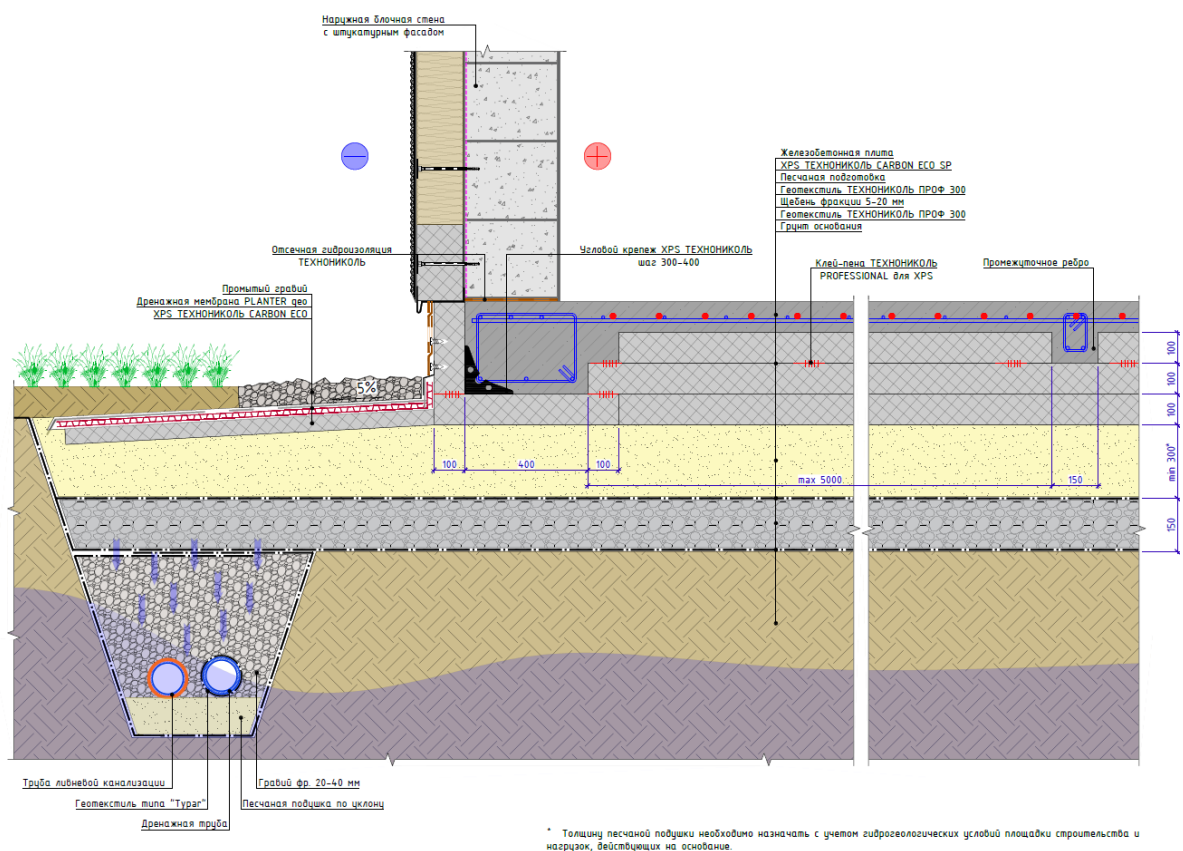
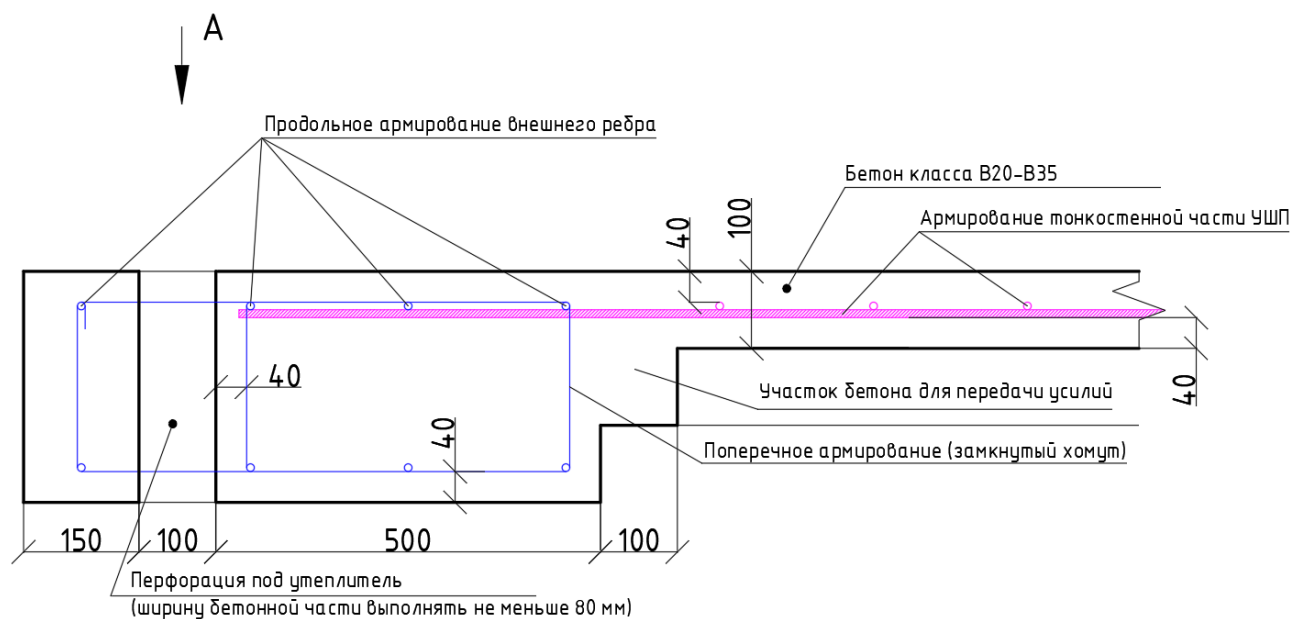


Рисунок Б.3.2 – Схема комплексного решения наружного несущего ребра высотой 300 мм с применением L-блоков опалубки (дом из блоков)



Вид А

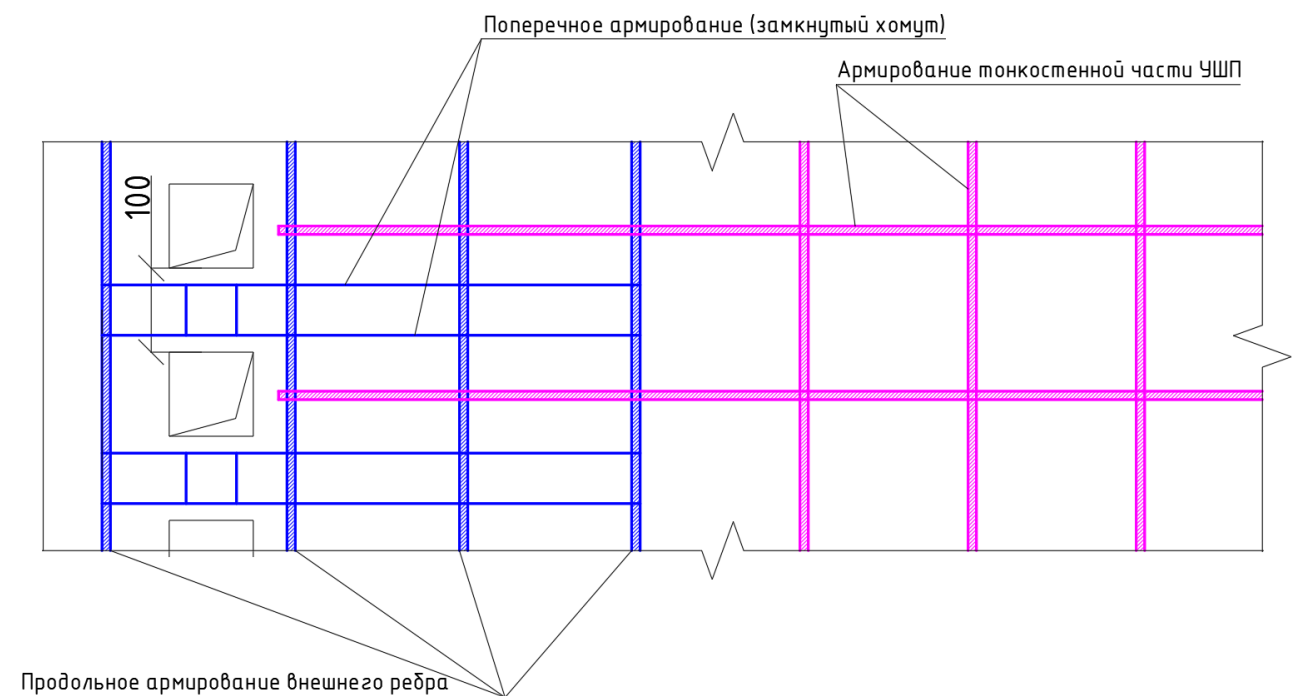


Рисунок Б.4 – Принципиальная схема армирования наружного несущего ребра высотой 300 мм (пример для бескаркасной конструктивной схемой с несущими каменными стенами с кирпичной облицовкой с кирпичной облицовкой). Размеры перфорации показаны условно и принимаются на основании теплотехнического расчёт

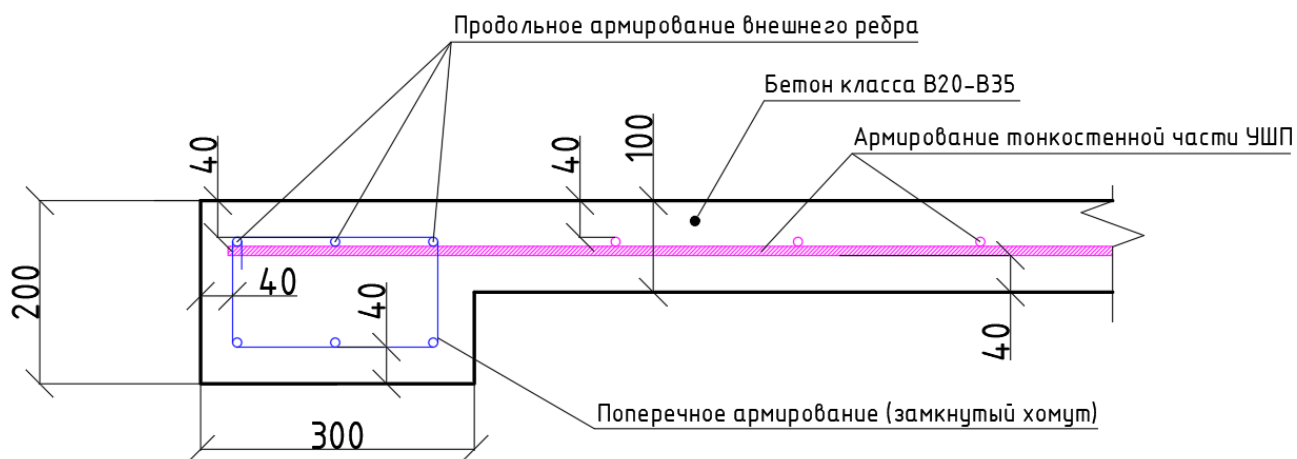


Рисунок Б.5 – Принципиальная схема армирования наружного несущего ребра высотой 200 мм (пример для деревянного каркаса, для бескаркасной конструктивной схемы с несущими каменными стенами по аналогии с рисунком Б.4)

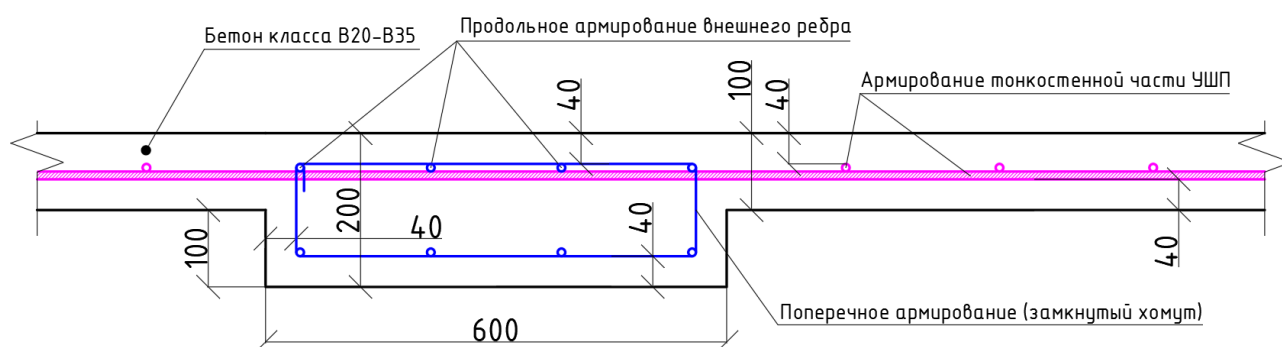


Рисунок Б.6 – Принципиальная схема армирования внутреннего несущего ребра

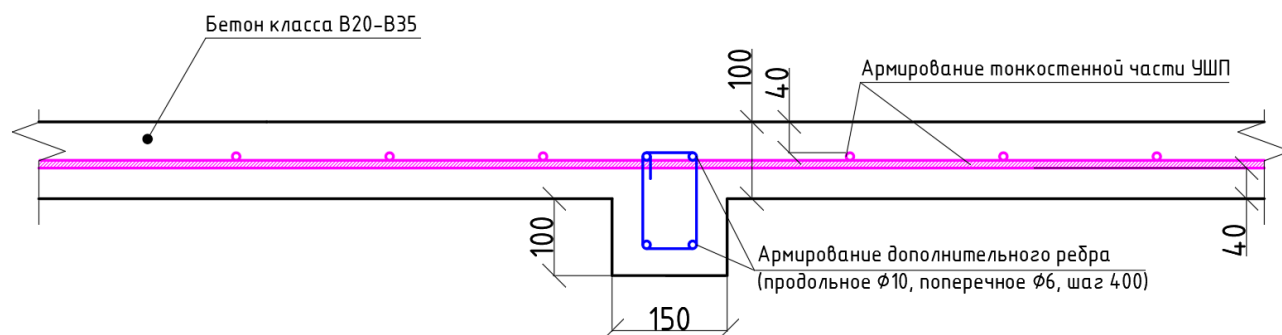


Рисунок Б.7 – Внутреннее дополнительное ребро. Рекомендуется шаг каждые 5-6 метров (предпочтение для 5 метров, при площади более 36 м² и продолжительности участка более 12 м. Для шага 6 метров и меньшей площади, допускается уменьшение ширины ребра до 100 мм и армирование сеткой)

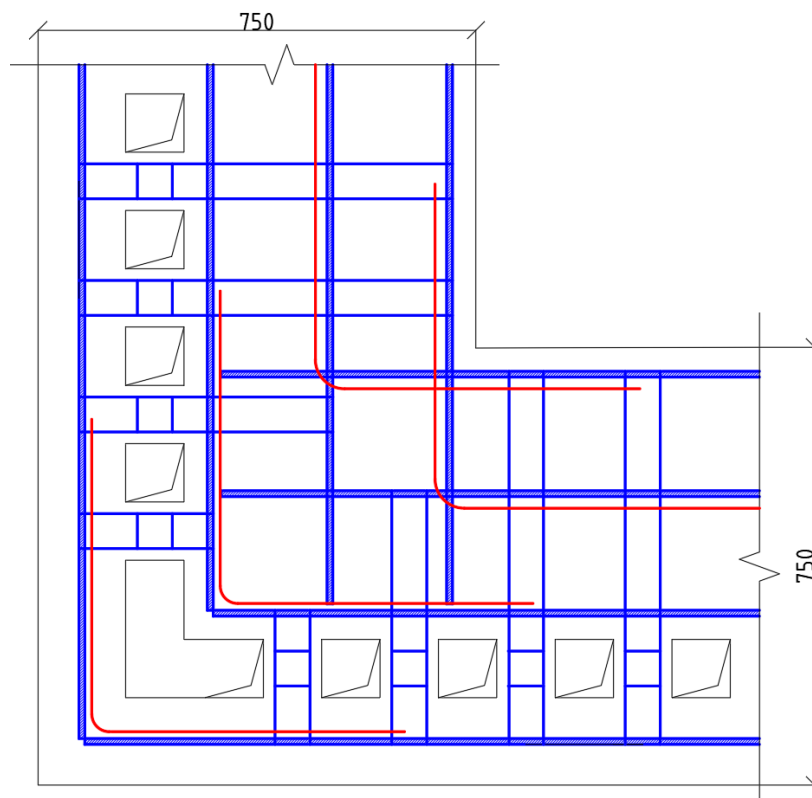


Рисунок Б.8 – Пересечение внешних рёбер шириной 750 мм на углу УШП. Размеры перфорации показаны условно и принимаются на основании теплотехнического расчёта.

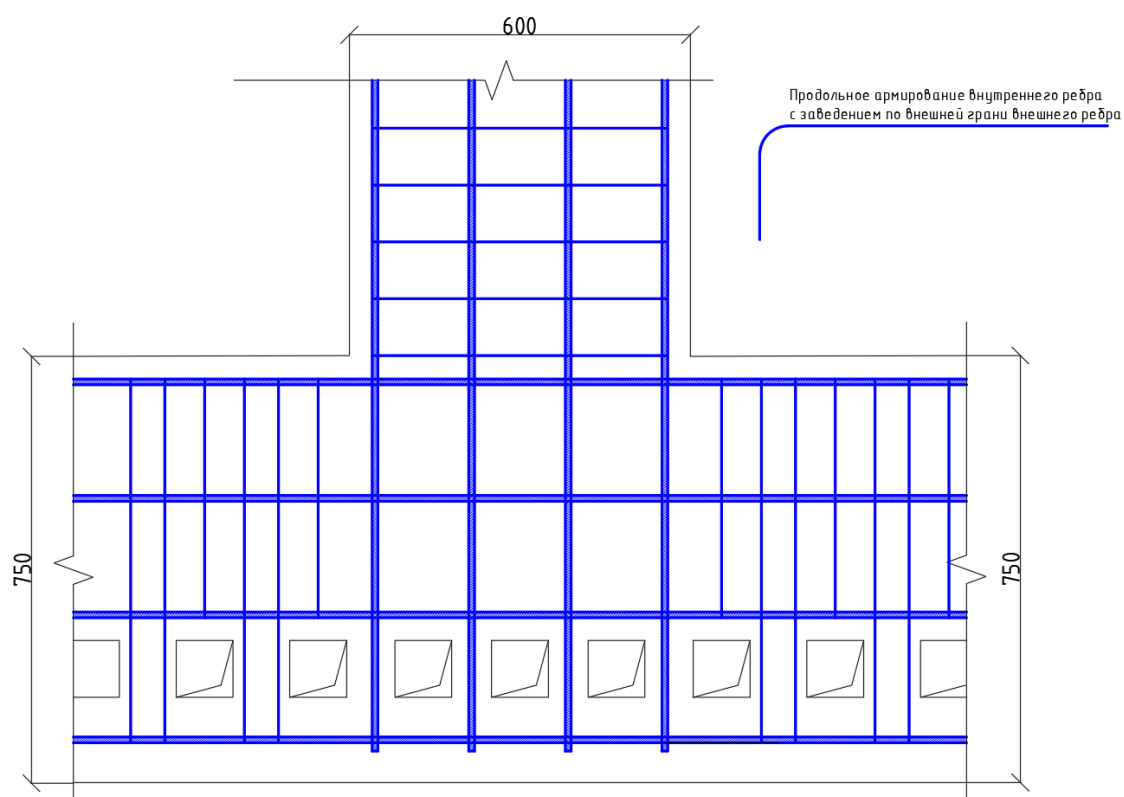


Рисунок Б.9 – Пересечение внутреннего ребра шириной 600 мм с внешним ребром шириной 750 мм. Размеры перфорации показаны условно и принимаются на основании теплотехнического расчёта.

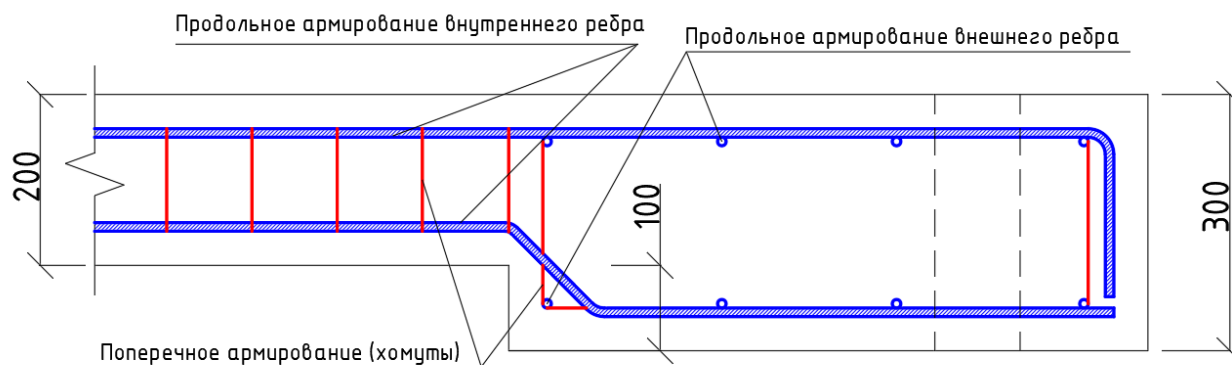


Рисунок Б.10 – Пересечение внутреннего ребра высотой 200 мм с внешним ребром высотой 300 мм. Размеры перфорации показаны условно и принимаются на основании теплотехнического расчёта.

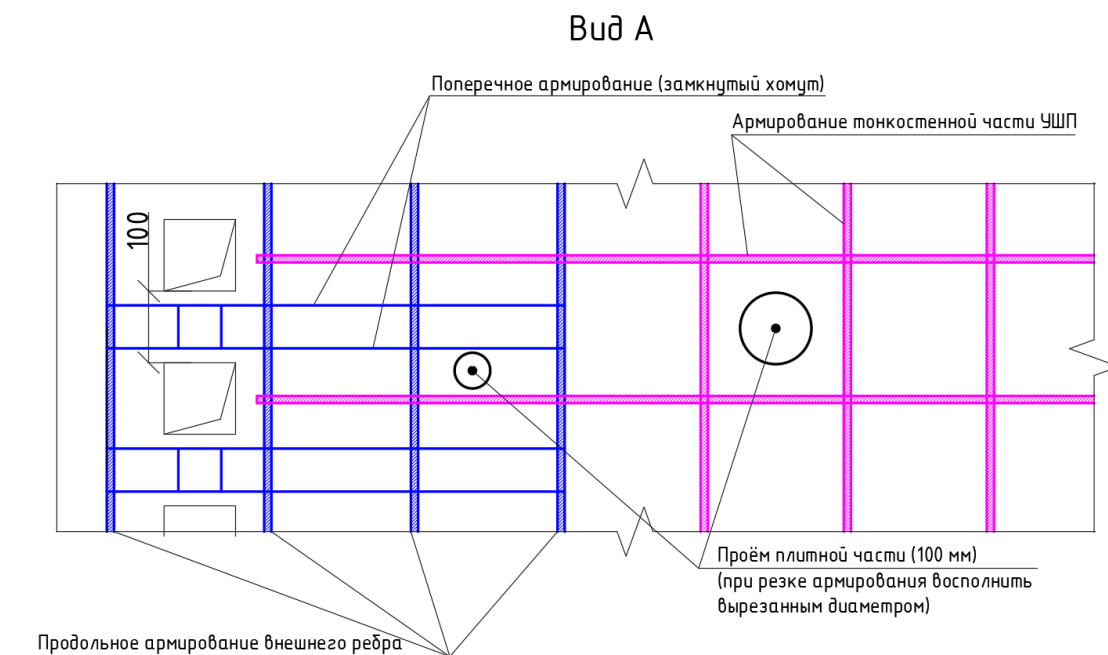


Рисунок Б.11 – Усиление проемов плитной части. При пересечении проёмом армирования, выполнить восполнение по контуру проёма диаметрами вырезанного армирования

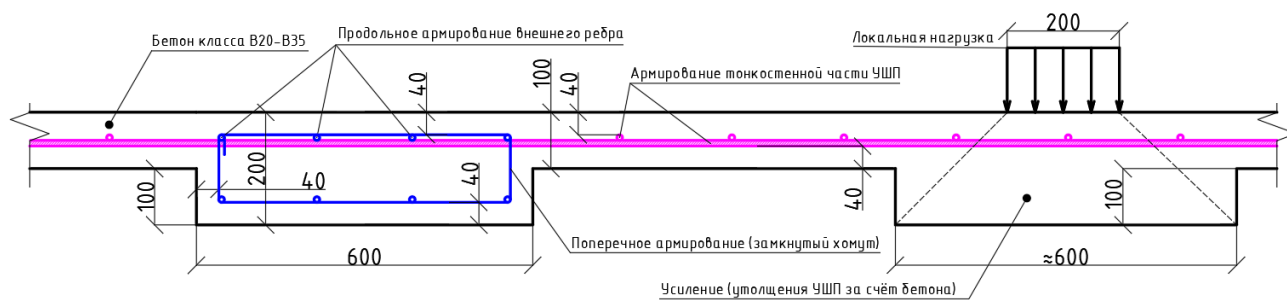


Рисунок Б.12 – Усиление под сосредоточенной нагрузкой в плитной части

Приложение В

(справочное)

Табличное представление прикладной методики

Описание / параметр	≤ 5 т/м.п. на ребро фундамента (несущие деревянные каркасные стены)	5 т/м.п. ... 11 т/м.п. на ребро фундамента (несущие каменные стены)
Рекомендуемая толщина песчаной подушки под рёбрами, не менее, <i>м</i>	0,30	0,70
Минимальная ширина внешнего железобетонного ребра УШП, <i>м</i>	0,30	0,75 / 0,60 ¹
Минимальная ширина внутреннего железобетонного ребра УШП, <i>м</i>	0,40	0,60
Минимальная высота внешнего железобетонного ребра УШП, <i>м</i>	0,20 ⁴	0,30
Рекомендуемое продольное армирование рёбер УШП, на грань ²	3Ø10	4Ø12
Рекомендуемое продольное армирование тонкостенной части УШП, на грань	Ø10 шаг 200	Ø10 шаг 200
Рекомендуемое поперечное армирование у пересечения рёбер (0,5 м), на хомут	Ø6 шаг 200	Ø6 шаг 100
Требуется дополнительное армирование тонкостенной части под несущими стенами? ³	Нет	Да
¹ – для варианта с облицовочным кирпичом / для варианта без облицовочного кирпича ² – при высоте внешнего ребра 300 мм, внутреннего – 200 мм, значения для нижней или верхней грани (симметричное армирование) ³ – под внутренней стеной ⁴ – высота 0,2 м допускается для одноэтажного (3 м высота этажа) дома с деревянным каркасом. Примечание - В таблице представлены значения, рекомендованные исходя из минимально допустимых физико-механических характеристик грунтового основания (модуль деформации E=8 МПа, угол внутреннего трения φ=10°, значение удельного сцепления c=10 кПа), и должны быть проверены расчётом		

Библиографический список

В качестве иных библиографических основных источников, при разработке настоящего руководства были применены:

1. №261-ФЗ от 23 ноября 2009 г Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации
2. Гениев, Г. А. Теория пластичности бетона и железобетона / Г. А. Гениев, В. Н. Киссюк, Г. А. Тюпин. – Москва : Стройиздат, 1974. – 316 с.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов / Цытович Н.А. – Москва : Высшая школа, 1983. – 288 с.
4. Lubliner J. A Plastic-Damage Model for Concrete [Text] / J. Lubliner, J. Oliver, S. Oller // Int. J. Solids Struct. – 1989. – Vol. 25 (3). – P. 229–326.
5. Zienkiewicz, O.C. The Finite Element Method: vol.1 The Basis. [Text] / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor // Butterworth-Heinemann, 2000.
6. Zienkiewicz, O.C. The Finite Element Method: vol.2 Solid Mechanics. [Text] / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor // Butterworth-Heinemann, 2000.