

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Инженерно-строительный факультет
Кафедра технологии, организации и экономики строительства

***Тема: Обоснование эффективности применения
термопанелей в многоэтажном каркасном
домостроении.***

Направление: 550100 – Строительство
Магистерская программа: 550102 – Теория и практика
организационно-технологических и экономических решений

Выполнила студентка гр.6019/м

Е.Н. Митина

Руководитель

Е.Н. Жмарин

Санкт-Петербург
2007

Содержание

Введение	4
1. Изучение состояния вопроса строительства ограждающих конструкций в виде термопанели, постановка задачи исследования	4
1.1. Ограждающие конструкции из термопанелей	4
1.1.1. Принципиальная конструкция термопанели.....	5
1.1.2. Наружная и внутренняя отделка	6
1.2. Термопрофили – составляющие термопанели.....	6
1.2.1. Несущая способность термопрофилей	7
1.2.2. Расчетные сопротивления материала профиля.....	9
1.2.3. Производство термопрофилей в Санкт-Петербурге	9
1.3. Монтаж стен из термопанелей.....	10
1.3.1. Детальный метод	10
1.3.2. Панельный метод	11
1.3.2.1. Подготовительные работы перед монтажом термопанелей	11
1.3.2.2. Обращение с термопанелями	11
1.3.2.3. Подъем панелей	12
1.3.2.4. Монтаж панелей и подкрепление их во время строительных работ	12
1.3.2.5. Уплотнение швов между панелями и пароупор	12
1.4. Термопрофильные стены многоэтажных зданий	12
1.4.1. Способы крепления термопанелей к несущему каркасу	13
1.4.2. Плиты для облицовки термопрофильной стены	15
1.4.3. Теплоизоляционные материалы термопанели	16
1.4.4. Уплотнения швов термопанелей	16
1.4.5. Пароупор термопанели	16
1.4.6. Средства крепления термопанелей.....	17
1.5. Строительно-физические показатели термопанелей	17
1.5.1. Теплопроводность термопанели.....	18
1.5.2. Звукоизоляция	19
1.5.3. Огнестойкость	19
1.5.4. Дополнительная теплоизоляция термопанели	19
1.6. Преимущества и недостатки термопанелей	19
1.6.1. Шум	19
1.6.2. Пожар	19
1.6.3. Окружающая среда и здоровье граждан.....	20
1.6.4. Взрыв.....	20
1.6.5. Землетрясение	20
1.6.6. Экономичность.....	20
1.6.7. Долговечность	20
1.6.8. Огнестойкость и пожаробезопасность.....	21
1.6.9. Отличные тепло и звукоизоляционные характеристики	21
1.6.10. Экономия пространства	21
1.7. Воздействие воздушной ударной волны на здания.....	21
1.7.1. Наземный взрыв.....	24
1.7.2. Воздушный взрыв	25
1.7.3. Учет энергии взрыва различных ВВ.....	27
1.7.4. Закон подобия при взрывах	27
1.7.5. Действие воздушной ударной волны	28
1.7.6. Краткая характеристика степеней разрушения зданий.....	29
1.7.6.1. Слабое разрушение	29
1.7.6.2. Среднее разрушение	29
1.7.6.3. Сильное разрушение	29
1.7.6.4. Полное разрушение	29

Таблица 3. Поражение зданий, сооружений при взрыве.....	30
1.8. Выводы по главе. Постановка задачи исследования.....	30
2. Моделирование каркаса термопанели в программе SCAD.....	30
2.6. Создание нового сечения профиля в программе Консул.....	31
2.7. Сбор нагрузок на каркас термопанели.....	34
2.7.1. Постоянные нагрузки.....	34
2.7.2. Кратковременные нагрузки.....	34
2.8. Расчетная схема каркаса термопанели №1.....	36
2.9. Приложение нагрузок на каркас термопанели №1. Формирование комбинаций загружений.....	37
2.10. Расчет конструкции.....	38
2.11. Результаты исследования напряженно-деформированного состояния каркаса термопанели №1.....	39
2.12. Расчет профиля на прочность от действия динамической нагрузки	41
2.13. Расчетная схема каркаса термопанели №2.....	44
2.14. Приложение нагрузок на каркас термопанели №2. Формирование комбинаций загружений.....	44
2.15. Результаты исследования напряженно-деформированного состояния каркаса термопанели №2.....	45
2.16. Сравнение результатов расчета с нормативными.....	46
2.17. Выводы по главе.....	46
3. Расчет и сравнение нескольких типов термопанели.....	46
3.1. Моделирование и расчет термопанелей в SCAD.....	46
3.2. Построение графиков зависимости.....	48
3.3. Выводы по главе.....	50
4. Оценка действия ударных воздушных волн на термопанель.....	50
4.1. Наземный взрыв.....	50
4.2. Воздушный взрыв.....	51
4.3. Выводы по главе.....	52
5. Научно обоснованные технические, экономические или технологические разработки.....	52
5.1. Сравнительный анализ термопанелей с другими ограждающими конструкциями.....	52
5.2. Сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов.....	52
Заключение.....	53
Список использованных источников.....	55

Введение

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром. В связи с техническим прогрессом, появились новые технологии строительства и спрос на новые виды продукции. За последние годы в нашей стране существенно изменились архитектурно-конструктивные решения и технология строительства зданий.

Реализация государственной программы «Доступное жилье» тормозится из-за дороговизны строительных материалов и высокой себестоимости строительных работ. Проектные и строительные организации недостаточно информированы о принципиально новых строительных технологиях и материалах. А есть разработки, позволяющие значительно снизить материальные, трудовые и стоимостные затраты в массовом строительстве при высоких качественных и эксплуатационных показателях.

В крупных городах России каркасно-монолитное жилье давно стало привычным. К преимуществам каркасно-монолитного строительства относится как гибкость общих архитектурно-планировочных решений, так и возможность свободной планировки помещений. Каркасно-монолитное жилье может быть любой категории, от экономической до элитной. При этом чрезвычайно важно, какой вид имеет ограждающая система, определяющая ее экономическую и техническую эффективность.

Современные требования к теплопередаче через наружные стены привели к тому, что полностью кирпичные наружные стены многоэтажных домов не строятся, так как требуемая толщина кирпичной кладки достигла бы на нижних этажах полутора метров. Каркасно-монолитный дом не имеет подобной проблемы, так как стену на каждом этаже несет плита перекрытия. Стена является «самонесущей» в пределах одного этажа, что избавляет ее от необходимости быть опорой для вышележащих этажей. Следовательно, стеновой материал может быть менее плотным и более теплоэффективным.

И этот стеновой материал может быть термопанелью.

При этом наиболее существенные научные результаты по этой проблеме, полученные лично соискателем, сводятся к построению модели напряженно-деформированного состояния термопанели.

Кроме того, предложенная теоретическая модель позволила впервые адекватно описать картину воздействия нагрузок на каркас термопанели в целом.

Сформулированы новые технические предложения, направленные на увеличение эффективности использования термопанелей в качестве ограждающих конструкций, отличающиеся учетом воздействия на них динамических нагрузок.

Достоверность полученных результатов базируется на теоретико-экспериментальных материалах, подтвержденных результатами практического внедрения в производство и зарубежного опыта строительства.

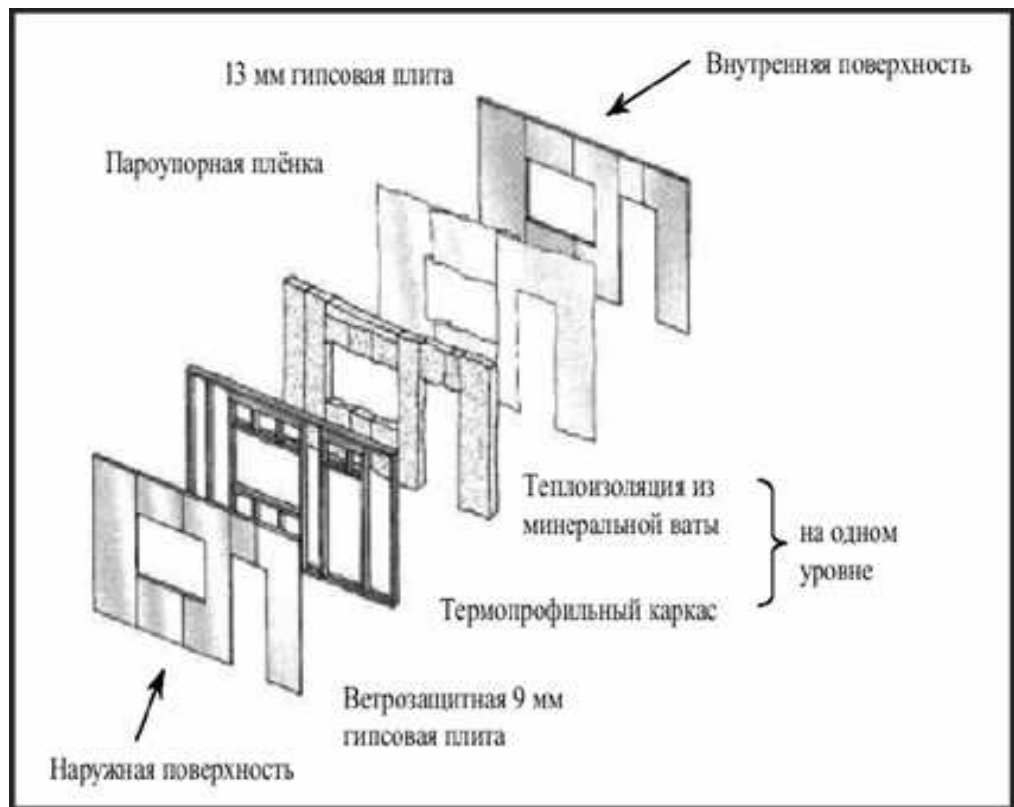
Большую практическую значимость имеют результаты работы по использованию термопанелей в качестве ограждающих конструкций при строительстве многоэтажных жилых домов.

Результаты работы рекомендуется использовать в проектировании монолитного многоэтажного каркасного домостроения.

1. Изучение состояния вопроса строительства ограждающих конструкций в виде термопанели, постановка задачи исследования

1.1. Ограждающие конструкции из термопанелей

Термопанелями называются наружные стены, каркас которых составляет из термопрофилей. Термопрофилями называются гнутые из горячеоцинкованной тонколистовой стали профили, теплопроводность которых существенно ниже теплопроводности традиционных стальных профилей. Хорошие теплотехнические показатели термопрофилей достигаются путем перфорирования стенок профилей. Кроме того, термопрофили легки, имеют точные размеры, сохраняют свою форму и являются стойкими в условиях окружающей среды.



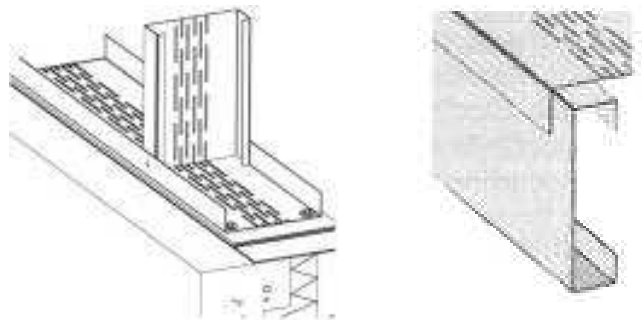
1.1.1. Принципиальная конструкция термопанели

Основными элементами являются вертикальные несущие стойки с поперечным сечением ТС (или ТУ). Горизонтальные элементы с поперечным сечением ТУ применяются на верхней и нижней кромке каркаса и над дверными и оконными проемами. Жесткость термопрофильного каркаса обеспечивается покрывающими каркас с обеих сторон строительными плитами, а при необходимости также устанавливаемыми под плиты диагональными связями из стальной ленты.

Высота поперечного сечения поясов ТУ на 4 мм больше высоты поперечного сечения стоек ТС (или ТУ). Это способствует быстрым и удобным решениям конструкций узлов.



Самосверлящий шуруп с низкой головкой или стальная заклепка.



Для обшивки панели используется гипсоволокнистые листы (ГВЛ, ГВЛВ). Между обшивкой находится теплоизолирующий слой из минераловатных плит на основе базальтового волокна толщиной 150, 175 и 200 мм, плотностью не менее 35 кг/м³. Наиболее распространённая конструкция термопанелей, подходящая к климатическим условиям Северо-Западного региона базируется на стоечных профилях шириной 175 мм. причем приведенное сопротивление теплопередаче составляет $R_0 = 3,26 \text{ м} \cdot \text{С/Вт}$. Стена из термопанелей толщиной 150 мм с облицовкой в полкирпича по теплопроводности заменяет кирпичную стену толщиной 1000 мм.

1.1.2. Наружная и внутренняя отделка

В качестве наружной облицовки термопанелей можно использовать весьма различные фасадные материалы: сталь, древесину, стекло, камень, штукатурку и т.п. Существенных ограничений термопрофильная стена не ставит также и внутренней отделке.

1.2. Термопрофили – составляющие термопанели

Термопрофили изготавливаются из горячеоцинкованной тонколистовой стали с нормативным пределом текучести 350 Н/мм^2 и прочностью на растяжение 420 Н/мм^2 . Толщина слоя цинка, покрывающего стальной лист с обеих сторон, около 20мкм.

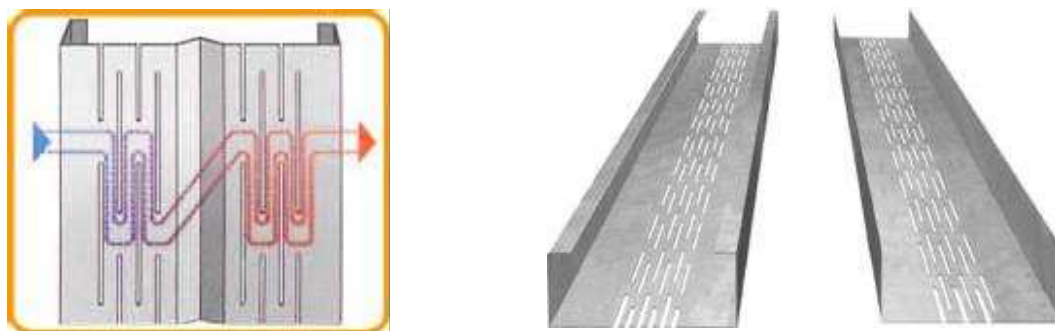


Рисунок 1. Термопрофиль с прорезанными в шахматном порядке отверстиями.

Наиболее часто применяются профили ТС и ТУ высотой поперечного сечения 175мм. Термопрофили маркируются следующим образом:

ТС -175 -1,2 Термопрофиль с сечением типа С, высота поперечного сечения 175 мм, толщина материала 1,2мм;

ТУ -179 -1,2 Термопрофиль с сечением типа U, высота поперечного сечения 179 мм, толщина материала 1,2мм.

Стандартные типы поперечных сечений термопрофилей:

ТС-125-	TZ-125-	TU-125-	TU-129-	TUL-129-
ТС-150-	TZ-150-	TU-150-	TU-154-	TUL-154-
ТС-175-	TZ-175-	TU-175-	TU-179-	TUL-179-
ТС-200-	TZ-200-	TU-200-	TU-204-	TUL-204-
ТС-225-	TZ-225-	TU-225-	TU-229-	TUL-229-

Все профили изготавливаются из стали толщиной 1,0, 1,2, 1,5, и 2,0 мм.

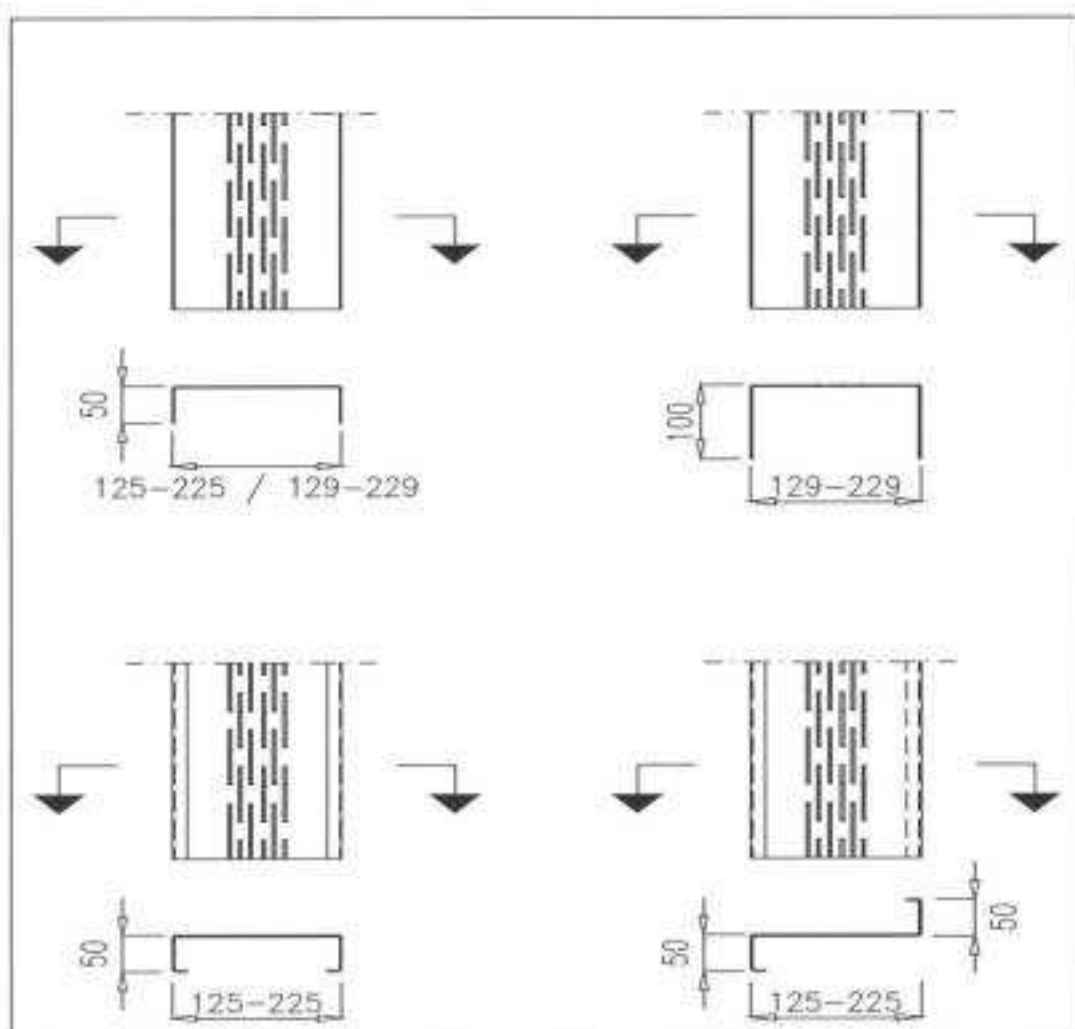
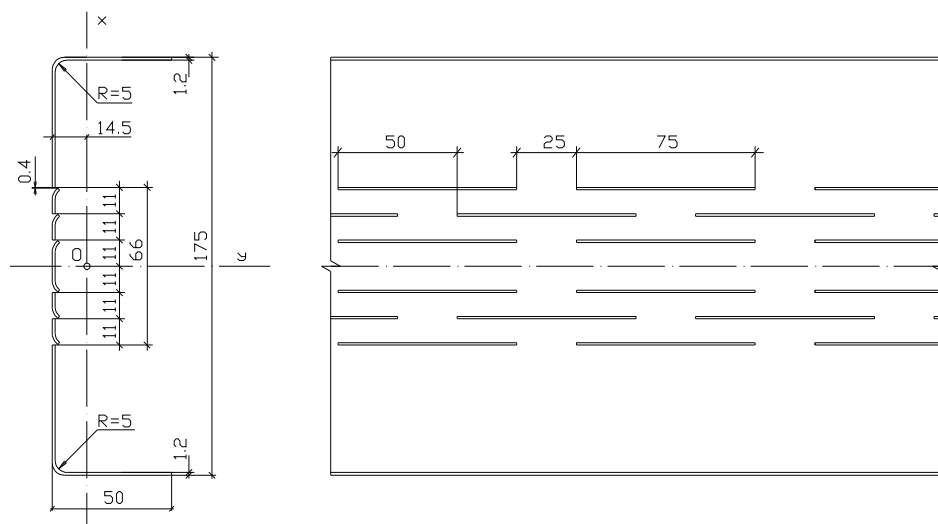


Рис 2. Поперечные сечения и стандартные размеры профилей

1.2.1. Несущая способность термопрофилей

Изложенные в нижеследующих таблицах параметры поперечного сечения и несущие способности термопрофилей рассчитаны исходя из европейской нормы ENV 1993-1-3 и действительны при условии, что профили изготавливаются согласно стандарту EN 10147 из стали Rgal 350 S с пределом текучести $f_y = 350 \text{ Н/мм}^2$.

A – площадь брутто поперечного сечения;

A_{eff} – эффективная площадь поперечного сечения;

I_y – момент инерции брутто поперечного сечения по отношению к оси y ;

W_y – момент сопротивления брутто поперечного сечения по отношению к оси y ;

$I_{y,eff}$ – эффективный момент инерции поперечного сечения по отношению к оси y ;

$W_{y,eff}$ – эффективный момент сопротивления поперечного сечения по отношению к оси y ;

$N_{c,Rd}$ – несущая способность профиля на сжатие при условии, что продольный изгиб исключен;

$M_{y,Rd}$ – несущая способность профиля на изгиб по отношению к оси y при условии, что перекокс исключен;

V_{Rd} – несущая способность профиля на срез;

Профиль	A , мм ²	A_{eff} , мм ²	I_y , мм ⁴	W_y , мм ³	$I_{y,eff}$, мм ⁴	$W_{y,eff}$, мм ³	$N_{c,Rd}$, кН	$M_{y,Rd}$, кНм	V_{Rd} , кН
ТС-125-1,0	232	76	5,98×10 ⁵	9,65×10 ³	3,66×10 ⁵	3,37×10 ³	24,2	1,39	1,51
ТС-125-1,2	280	111	7,18×10 ⁵	1,16×10 ⁴	4,97×10 ⁵	6,27×10 ³	35,3	1,99	2,66
ТС-125-1,5	350	171	8,95×10 ⁵	1,45×10 ⁴	6,98×10 ⁵	9,35×10 ³	54,3	2,97	5,31
ТС-125-2,0	466	270	1,18×10 ⁶	1,92×10 ⁴	9,92×10 ⁵	1,40×10 ⁴	85,9	4,44	8,74
ТС-150-1,0	248	74	9,10×10 ⁵	1,22×10 ⁴	5,27×10 ⁵	5,12×10 ³	23,5	1,63	0,97
ТС-150-1,2	299	108	1,09×10 ⁶	1,47×10 ⁴	7,19×10 ⁵	7,36×10 ³	34,2	2,34	1,71
ТС-150-1,5	374	165	1,36×10 ⁶	1,83×10 ⁴	1,01×10 ⁶	1,10×10 ⁴	52,6	3,51	3,41
ТС-150-2,0	498	262	1,80×10 ⁶	2,43×10 ⁴	1,45×10 ⁶	1,66×10 ⁴	83,3	5,29	8,11
ТС-175-1,0	272	74	1,31×10 ⁶	1,50×10 ⁴	7,34×10 ⁵	6,05×10 ³	23,5	1,92	1,10
ТС-175-1,2	328	108	1,57×10 ⁶	1,81×10 ⁴	1,00×10 ⁶	8,69×10 ³	34,3	2,76	1,93
ТС-175-1,5	411	166	1,96×10 ⁶	2,26×10 ⁴	1,42×10 ⁶	1,30×10 ⁴	52,7	4,15	3,86
ТС-175-2,0	547	263	5,59×10 ⁶	3,00×10 ⁴	2,05×10 ⁶	1,98×10 ⁴	83,7	6,29	9,35
ТС-200-1,0	296	74	1,80×10 ⁶	1,81×10 ⁴	9,75×10 ⁵	6,98×10 ³	23,5	2,22	1,21
ТС-200-1,2	357	108	2,16×10 ⁶	2,17×10 ⁴	1,34×10 ⁶	1,00×10 ⁴	34,3	3,19	2,14
ТС-200-1,5	447	166	2,70×10 ⁶	2,72×10 ⁴	1,90×10 ⁶	1,51×10 ⁴	52,7	4,79	4,27
ТС-200-2,0	596	264	3,57×10 ⁶	3,61×10 ⁴	2,76×10 ⁶	2,29×10 ⁴	84,0	7,30	10,34
ТС-225-1,0	320	74	2,38×10 ⁶	2,13×10 ⁴	1,25×10 ⁶	7,93×10 ³	23,5	2,52	1,32
ТС-225-1,2	386	108	2,87×10 ⁶	2,56×10 ⁴	1,72×10 ⁶	1,14×10 ⁴	34,3	3,62	2,33
ТС-225-1,5	484	166	3,58×10 ⁶	3,20×10 ⁴	2,46×10 ⁶	1,71×10 ⁴	52,8	5,44	4,65
ТС-225-2,0	645	264	4,75×10 ⁶	4,26×10 ⁴	3,58×10 ⁶	2,61×10 ⁴	84,1	8,31	11,28

Таблица. Параметры поперечного сечения и несущая способность профилей ТС.

Профиль	A , мм ²	A_{eff} , мм ²	I_y , мм ⁴	W_y , мм ³	$I_{y,eff}$, мм ⁴	$W_{y,eff}$, мм ³	$N_{c,Rd}$, кН	$M_{y,Rd}$, кНм	V_{Rd} , кН
ТС-125-1,0	205	55	5,18×10 ⁵	8,35×10 ³	2,64×10 ⁵	2,98×10 ³	17,4	0,95	1,51
ТС-125-1,2	248	79	6,23×10 ⁵	1,01×10 ⁴	3,54×10 ⁵	4,15×10 ³	25,1	1,32	2,66
ТС-125-1,5	311	122	7,78×10 ⁵	1,26×10 ⁴	5,00×10 ⁵	6,15×10 ³	38,9	1,96	5,31
ТС-125-2,0	415	213	1,03×10 ⁶	1,68×10 ⁴	7,61×10 ⁵	1,00×10 ⁴	67,6	3,19	8,74
ТС-150-1,0	221	55	7,88×10 ⁵	1,06×10 ⁴	3,89×10 ⁵	3,60×10 ³	17,5	1,15	0,97
ТС-150-1,2	267	79	9,48×10 ⁵	1,27×10 ⁴	5,26×10 ⁵	5,06×10 ³	25,2	1,61	1,71
ТС-150-1,5	335	123	1,19×10 ⁶	1,60×10 ⁴	7,48×10 ⁵	7,59×10 ³	39,2	2,14	3,41
ТС-150-2,0	447	215	1,57×10 ⁶	2,13×10 ⁴	1,15×10 ⁶	1,25×10 ⁴	68,4	3,99	8,11
ТС-175-1,0	245	55	1,14×10 ⁶	1,31×10 ⁴	5,43×10 ⁵	4,28×10 ³	17,6	1,36	1,10
ТС-175-1,2	296	80	1,37×10 ⁶	1,57×10 ⁴	7,36×10 ⁵	6,02×10 ³	25,3	1,91	1,93
ТС-175-1,5	371	124	1,71×10 ⁶	1,97×10 ⁴	1,05×10 ⁶	9,04×10 ³	39,4	2,88	3,86
ТС-175-2,0	496	217	2,88×10 ⁶	2,63×10 ⁴	1,63×10 ⁶	1,50×10 ⁴	68,9	4,77	9,35
ТС-200-1,0	269	55	1,57×10 ⁶	1,58×10 ⁴	7,24×10 ⁵	4,67×10 ³	17,6	1,58	1,21
ТС-200-1,2	325	80	1,89×10 ⁶	1,90×10 ⁴	9,83×10 ⁵	6,99×10 ³	25,4	2,22	2,14
ТС-200-1,5	408	124	2,36×10 ⁶	2,38×10 ⁴	1,41×10 ⁶	1,05×10 ⁴	39,6	3,35	4,27

ТС-200-2,0	545	218	$3,14 \times 10^6$	$3,17 \times 10^4$	$2,20 \times 10^6$	$1,75 \times 10^4$	69,3	5,57	10,34
ТС-225-1,0	293	55	$2,09 \times 10^6$	$1,86 \times 10^4$	$9,33 \times 10^5$	$5,68 \times 10^3$	17,6	1,81	1,32
ТС-225-1,2	354	80	$2,51 \times 10^6$	$2,25 \times 10^4$	$1,27 \times 10^6$	$7,98 \times 10^3$	25,5	2,54	2,33
ТС-225-1,5	444	125	$3,15 \times 10^6$	$2,82 \times 10^4$	$1,83 \times 10^6$	$1,20 \times 10^4$	39,7	3,82	4,65
ТС-225-2,0	594	219	$4,19 \times 10^6$	$3,76 \times 10^4$	$2,86 \times 10^6$	$2,00 \times 10^4$	69,7	6,38	11,28

Таблица. Параметры поперечного сечения и несущая способность профилей ТУ.

1.2.2. Расчетные сопротивления материала профиля

Профили изготавливаются из следующих материалов:

- сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий по ГОСТ 14918, групп ХП и ПК, высшего или первого класса по толщине цинкового покрытия, нормальной разнотолщинности НР, нормальной точности прокатки по толщине БТ, нормальной плоскостности ПН с обрезной кромкой 0;
- горячеоцинкованная сталь марки 08гс по ТУ 14-1-1492 с гарантированным пределом текучести не менее 230 МПа;
- импортные и отечественные рулонные оцинкованные стали, отвечающие требованиям ГОСТ 14918 к сталям ХП и ПК. По согласованию с заказчиком допускается для ненесущих элементов профили изготавливать из стали группы ОН по ГОСТ 14918.

Толщина сталей без учета толщины защитного покрытия принимается от 0,6 до 2,0 мм в зависимости от типа профиля. Возможно применение рулонной оцинкованной стали с полимерным покрытием по ГОСТ Р 52146-2003. При определении массы профилей масса цинкового покрытия, нанесенного с двух сторон, не менее 414 г. на м² заготовки. Относительное удлинение стали – не менее 16%.

1.2.3. Производство термопрофилей в Санкт-Петербурге

Среди имеющейся нормативной литературы нет отдельных указаний для проектирования конструкций, зданий и сооружений из легких тонкостенных холодногнутых стальных профилей, о чем было так же упомянуто выше.

В связи с этим, учитывая рост производства металлоизделий и спроса на быстровозводимые здания из легких металлических холодногнутых стальных профилей, необходимо развивать теоретическую базу проектирования и практический опыт.

На данный момент в Санкт-Петербурге существует порядка 4 предприятий, имеющих свои линии по производству холодногнутых профилей. Однако спецификой легких металлических конструкций является то, что стандартного сортамента на их производство не существует и каждая компания выпускает свои виды профилей.

Одной Ведущей из действующих компаний по производству легких металлических конструкций в г. Санкт-Петербург является ООО «Балтпрофиль». Компания производит профили с 2003 г. ООО «БалтПрофиль» освоила массовое производство профилей из оцинкованной стали толщиной от 0,6 до 2,0 мм. Профили изготавливают методом непрерывной прокатки на профилегибочных станах. Для снижения теплопроводности гнутых профилей на их стенках в процессе прокатки выполняется перфорация в виде продольных просечек. Перфорированные профили (или так называемые «термопрофили») обладают пониженной теплопроводностью, сопоставимой с деревянными элементами такой же площади сечения благодаря увеличению пути прохождения теплового потока между полками профиля.

За время своей работы ООО «Балтпрофиль» зарекомендовало себя как надежная, стабильно развивающаяся компания, активно продвигающая технологию ЛСТК на строительном рынке, обеспечивающая научно-техническую и конструкторскую поддержку, стремящаяся осваивать смежные и совместимые с легких стальных тонкостенных конструкций современные строительные технологии.

Просечки стержня выполняются вращающимся ножом на гибочном станке в рамках единого технологического процесса получения его из заготовки, см рис.2.3. При этом в месте сечения сталь не изымается, а образуется прорезь, в месте которой сечение

отгибается. Ширина прорези контролируется щупом и составляет 0,4мм. Гибочный станок представлен на рис. 2.1

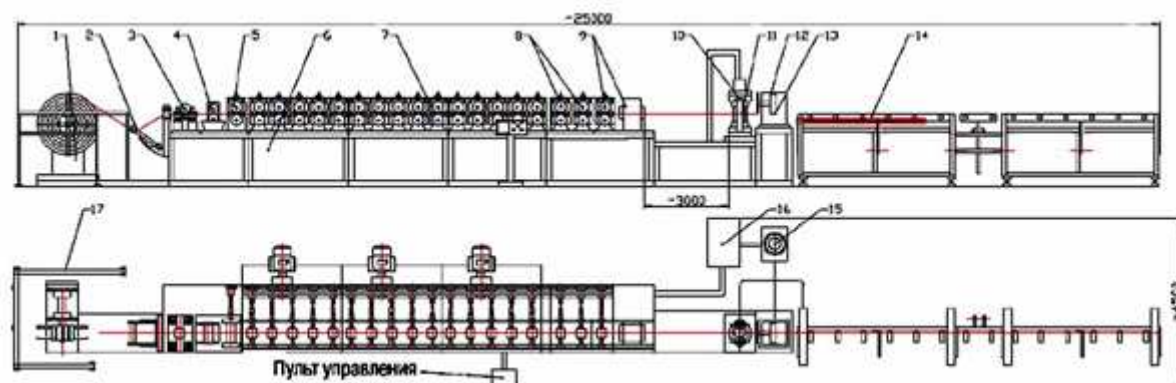


Рисунок 3. Схема гибочного станка



Рисунок 4. Фотография рабочего помещения компании ООО «Балтпрофиль»

1.3. Монтаж стен из термопанелей

Стены из термопанелей могут возводиться 2 методами:

1.3.1. Детальный метод

Стены собираются из отдельных деталей (термопрофили, минеральная вата и т.д.) на строительной площадке.

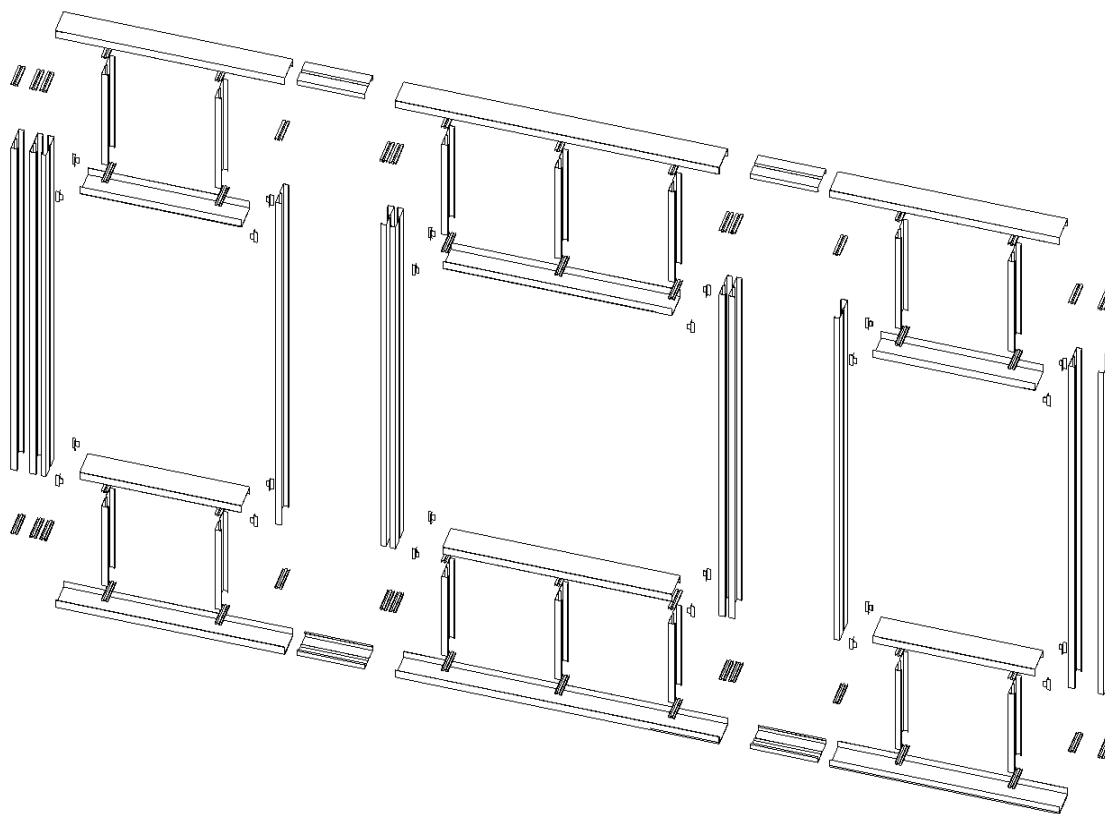


Рисунок 5. Сборка типовой панели с проемами

1.3.2. Панельный метод

При работе панельным методом на строительную площадку доставляют термопанели с желаемой степенью готовности, из которых собирают стены здания. Панели легковесны и не нуждаются в мощном грузоподъемном оборудовании.

1.3.2.1. Подготовительные работы перед монтажом термопанелей

До начала монтажа проверяется комплектность поставки и качество панелей. Монтаж термопанелей начинается после достижения проектной готовности конструкций (несущий каркас).

Отклонение высоты верхней поверхности перекрытия в размере всего здания может быть максимально 10мм и уклон 1:1000. Местные отклонения от плоскостности верхней поверхности могут быть максимально:

- на длине $L \leq 200\text{мм} \pm 2\text{мм}$;
- на длине $L \leq 1000\text{мм} \pm 3\text{мм}$;
- на длине $L \leq 2000\text{мм} \pm 5\text{мм}$;

При отклонениях, превышающих допустимые, дефекты устраняются например путем выравнивания цементным раствором или обрубки со шлифованием при помощи наждака.

Расположение термопанелей размечается линиями на поверхности несущей конструкции. На опорную поверхность под панель закрепляется уплотнение шва/цокольная лента.

1.3.2.2. Обращение с термопанелями

При обращении с термопанелями и при их монтаже соблюдают сборочные чертежи, которые по идентификационному номеру указывают местоположение каждого элемента и способ его крепления в стене.

1.3.2.3. Подъем панелей

Каждая панель имеет подъемные проушины. Между проушиной и подъемным тросом применяется подъемная серьга с цапфой диаметром 19мм. Во время подъема троса должны быть вертикальны, что обуславливает применение регулируемой грузоподъемной траверсы. Во время подъема элемент не должен висеть наклонно.

1.3.2.4. Монтаж панелей и подкрепление их во время строительных работ

При ветреной погоде к нижнему краю панелей закрепляются канаты, с помощью которых управляется движение груза в ходе подъемных работ. Элемент поднимается на отмеченное заранее место. Выверка панели в вертикальном и горизонтальном направлении происходит до освобождения ее от подъемной траверсы. Вертикальность корректируется установочными клиньями, устанавливаемыми под вертикальными стойками каркаса панели. После выверки нижнего края выверяют также верхний край и закрепляют на него соединительные детали. Сперва панель фиксируется с торцов, возможные промежуточные средства крепления устанавливаются в последнюю очередь.

Уже смонтированные панели следует защищать от неблагоприятного воздействия атмосферных условий и от причиненных строительными работами возможных воздействий. Обычно для этого используется пленка или брезент.

1.3.2.5. Уплотнение швов между панелями и пароупор

Для уплотнения межпанельных вертикальных и горизонтальных швов применяются резиновые трубчатые прокладки (также минеральная вата), которые закрепляются к элементам чаще всего на строительной площадке. В ходе монтажа следует наблюдать, чтобы прокладки не сместились с их мест. Горизонтальные швы между панелями и угловые швы дополнительно заполняются полосками минеральной ваты, шириной на 20...40мм больше ширины шва, и покрываются ветрозащитной плитой подходящей ширины. Швы ветрозащитной плиты уплотняются клеевой лентой или мастикой.

Пароупорную пленку в термопанели вкладывают уже на заводе. Выступающая, как минимум, на 200мм за пределы панели на ее нижнем и верхнем краю пленка позволяет соединять пароупоры стен, пола, потолка (в большинстве случаев клеевой лентой). Паронепроницаемость межпанельных вертикальных швов обеспечивается при помощи резиновых трубчатых прокладок. При необходимости швы уплотняются изнутри мастикой.

1.4. Термопрофильные стены многоэтажных зданий

В многоэтажных зданиях термопрофильный каркас является носителем наружной стены, т.е. передает собственный вес наружной стены и действующую на фасад ветровую нагрузку на несущий железобетонный или стальной каркас здания. При строительстве многоэтажных зданий обычно целесообразно пользоваться панельным методом и монтировать наружные стены из собранных на заводе термопанелей. В некоторых случаях применение детального метода все же выгоднее, особенно в криволинейных частях здания, при выполнении сложных углов и в балконных конструкциях. Если технические условия изготовления, транспортирования и строительства этого допускают, следует термопанели на заводе в возможно большей степени покрывать готовой фасадной облицовкой.



Жесткость термопанелей многоэтажного здания обеспечивается у малоразмерных панелей строительными плитами, покрывающими каркас с обеих сторон, у крупноразмерных панелей - диагональными связями из стальной ленты. Решение выбирается исходя из конкретной обстановки.

Термопанели представляют собой новую альтернативу при строительстве наружных стен современного многоэтажного здания. Панели легковесны (вес базового элемента из 175 мм профилей около 40 – 45 кг/м²), тонки и допускают применение различных материалов наружной и внутренней отделки.

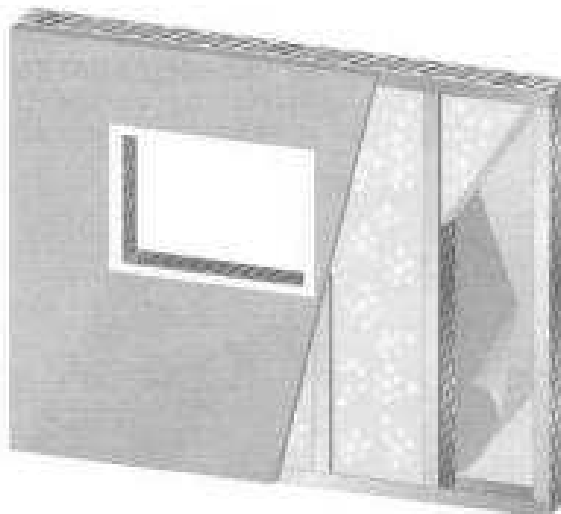


Рис 6. Термопанель, базирующая на 175 мм профилях.

1.4.1. Способы крепления термопанелей к несущему каркасу

Способ крепления термопанелей к несущему каркасу зависит от конфигурации каркаса. Часто панель опирают на край плиты перекрытия и его положение по высоте выверяют при помощи клиньев. В горизонтальном направлении элемент фиксируют при помощи стальных пластин и анкеров.



Рис 7. Горизонтальный разрез здания.

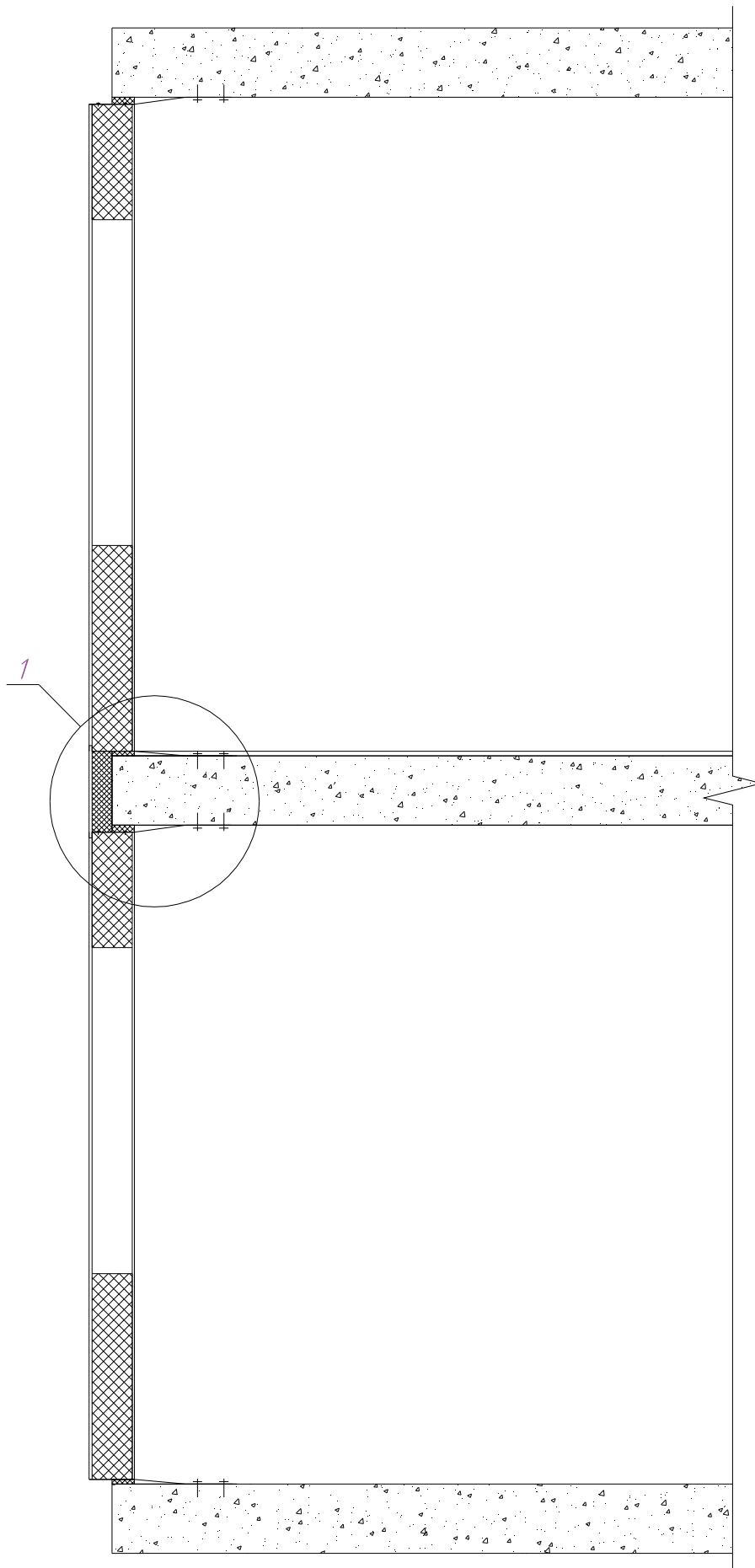


Рис 8. Вертикальный разрез здания.

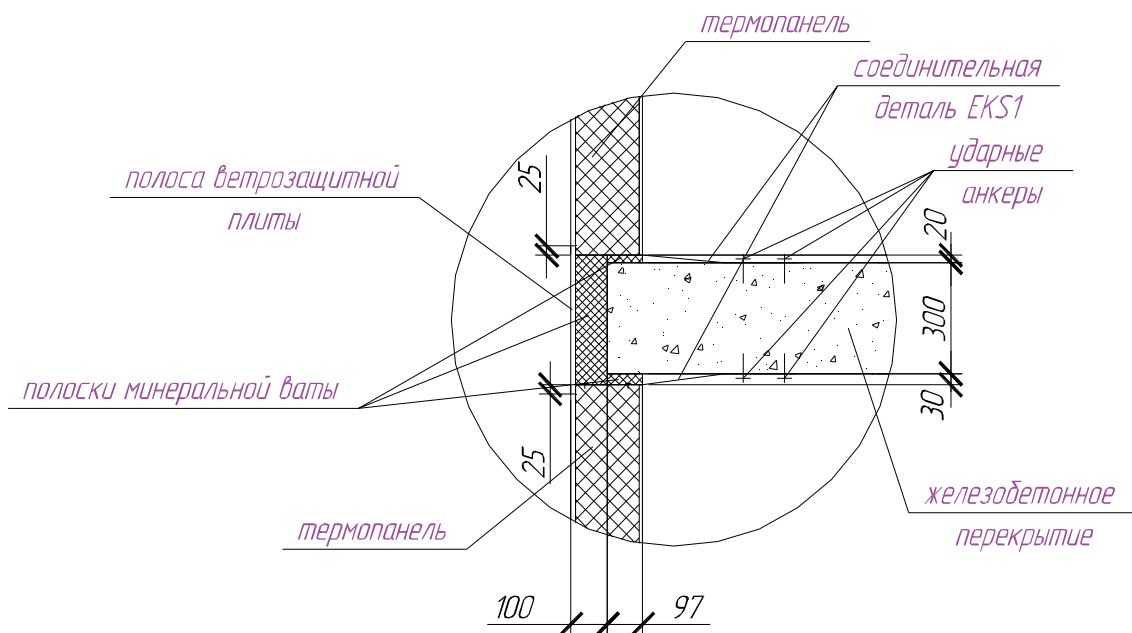


Рис 9. Узел крепления термопанели к перекрытию.

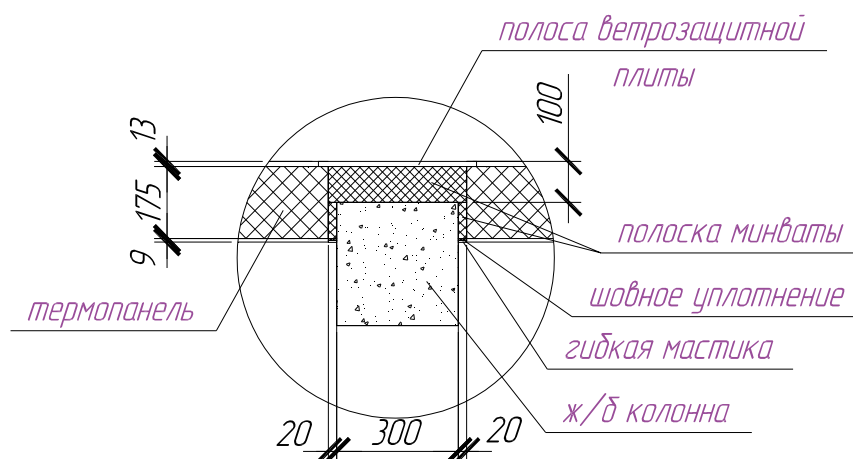


Рис 10. Узел крепления термопанели к колонне.

1.4.2. Плиты для облицовки термопрофильной стены

В качестве внутренней облицовки термопрофильного каркаса обычно используется 13 мм гипсовая плита с утонченными краями. По желанию могут быть использованы и другие плиты:

- 13 мм гипсовая плита повышенной прочности;
- 10 или 12 мм древесно-гипсовая плита;
- 10, 11 или 12 мм древесно-стружечная плита;
- 9 или 12 мм фанера;
- 9 мм полутвердая древесно-волокнистая плита.

В мокрых помещениях применяются предусмотренные проектом специальные решения и материалы.

В качестве ветрозащитной плиты наружной стороны каркаса используют обычно 9мм атмосферостойкую ветрозащитную гипсовую плиту. Могут быть использованы также другие плиты, в частности:

- 12 или 25 мм пористая ветрозащитная древесно-волоконная плита;
- 6,5 или 9 мм фанера;
- 12 мм битумитовая плита

Для крепления облицовочных плит выбираются крепежные средства, соответствующие типу плит.

1.4.3. Теплоизоляционные материалы термопанели

Теплоизоляционным материалом, укладываемым в термопрофильный каркас, может быть либо минеральная, либо стекловата. Ватой заполняется все пространство между элементами каркаса.

Свойства стекловаты Isover KL-A:

- негоряемая;
- объемный вес 20 кг/м³;
- удельная теплопроводность в нормальных условиях 0,037 Вт/мК, при условии, что швы ветрозащитной плиты заделаны.

Свойства минеральной ваты Paroc A-IL:

- негоряемая;
- объемный вес 35 кг/м³;
- удельная теплопроводность в нормальных условиях 0,037 Вт/мК, при условии, что швы ветрозащитной плиты заделаны.

1.4.4. Уплотнения швов термопанелей

Для уплотнения швов между конструктивными элементами пригодны шовные ленты финского производства Saumakarhukaista SK-20 или Vallykaista VK-20.

Для уплотнения швов ветрозащитных плит пригодна атмосферостойкая клейкая лента 3М, клейкие ленты для швов Isover Saumausteippi и Paroc Saumausteippi ST или соответствующие клейкие ленты производителей плит. Швы можно уплотнять также путем наложения уплотнительной мастики между краями швов в ходе облицевания или на швы после облицевания каркаса. В качестве мастики можно применять например Sikaflex A1.

1.4.5. Пароупор термопанели

Паро- и воздухопроницаемость термопанелей обеспечивается цельным пароупором, который настиляется между каркасом и внутренней облицовочной плитой.

В качестве пароупора применяется специальная пленка, например 0,2 мм полиэтиленовая пленка LPDE по финскому стандарту SFS 4225 с защитой от ультрафиолетового излучения, проницаемость водяного пара которой $1,83 \times 10^{-12} \text{ кгм}/(\text{м}^2 \text{ сПа})$.

В термопанели пароупорная пленка вкладывается уже на заводе. На верхних и нижних краях пленка выходит за пределы панелей около 200мм. При монтаже на строительной площадке пароупорная пленка панели соединяется с пароупорными пленками пола и потолка. Вертикальные швы между панелями заделываются резиновыми трубчатыми прокладками.

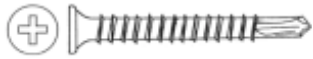
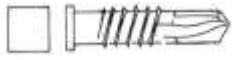


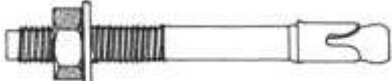
При строительстве детальным методом пароупорную пленку сначала приклеивают лентой к верхней поверхности пояса и затем в ходе монтажа облицовочных плит прижимают к термопрофильному каркасу. Окончательное крепление происходит заодно с креплением плит внутренней облицовки. Швы пароупорной пленки и прочие ее

соединения выполняются с достаточной нахлесткой (равной в вертикальном шве стены например одному шагу стоек, т.е. 600мм). Швы пароупорной пленки уплотняются при помощи клейкой ленты или прижиманием между двумя плотными поверхностями.

1.4.6. Средства крепления термопанелей

Термопрофильный каркас собирается на оцинкованных самосверлящих шурупах или заклепках. Для крепления облицовочных плит применяются соответствующие типу плит крепежные средства. При креплении к бетонным и железобетонным конструкциям применяются различные анкера.

Имея ввиду скорость и качество выполнения работ, рекомендуется использовать нижеприведенные средства крепления:

Шурупы:	самосверлящий шуруп для гипсовой плиты 3,5x25, оцинкованный 	крепление плит к каркасу
	самосверлящий шуруп SL4-F-4,8 x 16 (SFS Stadler) 	взаимное крепление термопрофилей в каркасе
	самосверлящий шуруп SD3-D12-5,5·22 (SFS Stadler) 	крепление соединительных угольников к каркасу
Анкера:	ударный анкер Spike D 32-6,3·64 (SFS Stadler) 	крепление к фундаменту
	клиновой анкер HSA-F-M12 (Hilti) 	крепление к фундаменту

1.5. Строительно-физические показатели термопанелей

Влаго- и теплотехническое функционирование стеновых конструкций с термопрофильным каркасом было исследовано путем проведения различных лабораторных и полевых испытаний. Хорошие теплотехнические показатели термопрофилей базируются на перфорации стеновой части профиля, что уменьшает теплопроводность поперечного сечения на 80-90%. Использование в поперечном сечении наружной стены проходящих насквозь традиционных стальных профилей приведет к образованию мостика холода. Перфорация же термопрофилей пересекает мостик холода, путь теплового потока через поперечное сечение станет длиннее и

сложнее. В конечном итоге, теплотехнические показатели термопрофиля и деревянного поперечного сечения такой же высоты находятся на приблизительно равном уровне.

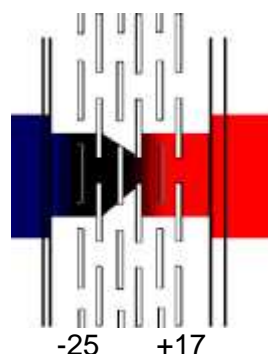


Рис11. Тепловой поток в поперечном сечении термопрофиля.

Согласно результатам испытаний, температура внутренней поверхности термопанели даже в местах расположения элементов каркаса достаточно высока, чтобы предотвращать конденсирование водяного пара на внутренней поверхности стены или на пароупорной пленке. Аналогично традиционным стенам на деревянном каркасе, связанная в материалах термопрофильной стены вода может стать причиной незначительного и временного конденсирования водяного пара на внутренней поверхности ветрозащитной плиты. Такое незначительное конденсирование не представляет собой никакой опасности, т.к. высокая паропроницаемость ветрозащитной плиты способствует быстрому высыханию стены.

1.5.1. Теплопроводность термопанели

В нижеприведенной таблице даны теплопроводности термопрофильной стены (U-числа) при разных высотах поперечного сечения элементов каркаса и исходящих из высоты толщинах стенок. U-числа найдены при предположении, что наружная поверхность каркаса покрыта 9 мм ветрозащитной гипсовой плитой с заделанными швами, а внутренняя поверхность покрыта 13 мм гипсовой плитой. Пространство между элементами каркаса полностью заполнено минеральной ватой.

Удельная теплопроводность изоляции, Вт/мК	Высота профиля, мм	U-число термопанели при разных толщинах материала профиля, Вт/м ² К			
		1,0 мм	1,2 мм	1,5 мм	2,0 мм
0,037	125	0,320	0,328	0,338	0,354
0,037	150	0,279	0,287	0,297	0,313
0,037	175	0,249	0,257	0,268	0,284
0,037	200	0,227	0,234	0,245	0,261
0,037	225	0,209	0,216	0,227	0,243
0,041	175	0,270	0,278	0,288	0,305
0,041	200	0,245	0,253	0,264	0,280

Таблица 1. Теплопроводности термопрофильных стен.

1.5.2. Звукоизоляция

Звукоизоляционные характеристики термопрофильной стены (каркасные стойки высотой поперечного сечения 175 мм и шагом 600 мм, пространство между элементами каркаса заполнено минеральной ватой, каркас снаружи облицован ветрозащитной 9 мм гипсовой плитой и изнутри 13 мм гипсовой плитой):

- измеренное глушение шума уличного движения 43 ДБ;
- измеренное глушение прочего наружного шума 51 ДБ.

1.5.3. Огнестойкость

Термопрофильная стена, как правило, собирается из негорючих материалов. В случае необходимости, огнестойкость стены проверяется согласно указаниям изготовителя облицовочных плит каркаса.

1.5.4. Дополнительная теплоизоляция термопанели

В целях достижения очень малых теплопотерь увеличивают толщину изоляционных материалов стены. Чаще всего дополнительную изоляцию укладывают ровным слоем на наружную поверхность обыкновенной термопанели. Используются специальные ветрозащитные плиты из минеральной ваты, швы которых заделываются эластичной мастикой.

Нижеследующая таблица демонстрирует влияние дополнительной изоляции на теплопроводность конструкции термопанели, базирующей на профилях 175/1,2. В качестве дополнительной изоляции используются ветрозащитные плиты из минеральной ваты с удельной теплопроводностью $\lambda_n=0.037$ Вт/мК.

Ветрозащитная плита из минеральной ваты $\lambda_n=0.037$ Вт/мК			
Толщина дополнительной изоляции, мм	U-число основной стены, Вт/м ² К	Влияние дополнительной изоляции на U-число стены, Вт/м ² К	Суммарное U-число, Вт/м ² К
30	0,257	0,044	0,213
45	0,257	0,061	0,196
50	0,257	0,066	0,191

Таблица 2. Влияние дополнительной теплоизоляции на теплопроводность термопанели.

1.6 Преимущества и недостатки термопанелей

1.6.1. Шум

Защита от шума обеспечена. Вследствие своей пористой структуры и высокой теплопроводности минеральная вата термопанели является отличной изоляцией от шума, проникающего через наружные и внутренние стены. Для суммарной звукоизоляционной способности наружной стены особенно важна звукоизоляция окон. Поэтому для достижения высоких показателей звукоизоляции особое внимание следует уделить окнам.

1.6.2. Пожар

В термопанелях применяются негорючие материалы класса НГ. Минеральная теплоизоляция относится к классу негорючих утеплительных материалов. Полученная при высочайших температурах, она способна выдерживать нагрев до 1000 градусов

Цельсия без потери своих физико-химических показателей. Благодаря этому минеральная вата удовлетворяет самым высоким требованиям пожарной безопасности и может использоваться в качестве противопожарной изоляции. Пожароустойчивость эковаты, которая также может быть использована в качестве теплоизоляции, обусловлена наличием в ее составе антипиренов, которые создают на волокнах целлюлозы негорючее покрытие и препятствуют их возгоранию. В случае возникновения пожара, эковата не поддерживает горение и не выделяет токсичных газов.

1.6.3. Окружающая среда и здоровье граждан

Металл и другие сопутствующие материалы (утеплитель, внутренняя и наружная обшивка стен, отделка) утилизируются на 100%, не подвержены воздействию термитов, любых видов грибка и плесени, других организмов. Неорганические и химически пассивны. Не впитывают и не выделяют в воздух химикаты.

«Канадское общество астматиков» (Asthma Society of Canada) признало воздух в помещениях из легких металлоконструкций наиболее пригодным для астматиков, а также людей, чувствительных к химикатам и аллергии.

Дополнительным немаловажным преимуществом этой технологии с точки зрения защиты экологии является возможность рециркуляции металлоконструкций неограниченное количество раз в будущем.

1.6.4. Взрыв

Жесткий бетонный каркас здания с малой парусностью и легко относимые ударной волной панели как специально созданы для уменьшения поражающего действия взрывной волны. Кроме того, термопанели не образуют тяжело разбираемых завалов.

1.6.5. Землетрясение

Действующими нормами предусмотрено, что проверяются только здания и сооружения, расположенные на площадках с сейсмичностью 7 баллов и выше. Предположение, что на площадках с меньшей сейсмичностью никакие меры обеспечения сейсмостойкости не нужны, обосновано лишь анализом поведения зданий обычной конструкции и относительно небольшой этажности. Переход к рассмотрению зданий повышенной этажности со сложной конструктивной схемой заставил пересмотреть это положение. С этой точки зрения важно, что замена тяжелого ограждения на легкие термопанели улучшает инерционные характеристики здания, особенно высотного.

Итак, применение термопанелей обеспечивает, и даже усиливает защиту человека от вредных и опасных воздействий.

1.6.6. Экономичность

В зависимости от функциональной принадлежности объекта стоимость 1 кв. м стены колеблется от 1200 до 2200 руб. Благодаря лёгкости конструкции, появляется возможность отказаться от сложных фундаментов в пользу более простых. Это уменьшает расход бетона на 50-80%, трудозатраты на 40-70%, а следовательно, и стоимость фундаментов в 2-4 раза.

1.6.7. Долговечность

Стальные профили из горячеоцинкованной стали защищены от коррозии на протяжении всего срока службы здания. Срок службы профилей был изучен в «Бритиш Стил». Потери в весе цинка были около 10 миллиграмм на м² в год в закрытом помещении. Аналогичные исследования были проведены для стальных оцинкованных профилей на открытом воздухе. В результате было показано, что 275 г/м² цинка достаточно для долговечности примерно в 100 лет.

1.6.8. Огнестойкость и пожаробезопасность

В результате совместной работы компаний «КНАУФ-Маркетинг Петербург» и «БалтПрофиль» получено заключение ВНИИПО по оценке огнестойкости и пожарной опасности наружных несущих стен на металлическом каркасе из термопрофилей с обшивкой гипсоволокнистыми листами и минераловатными плитами в качестве утеплителя. Предел огнестойкости конструкции составляет **RE 45**. Класс пожарной опасности **КО (45)**.

1.6.9. Отличные тепло и звукоизоляционные характеристики

В качестве утеплителя используется минеральная вата, обладающая низкой теплопроводностью, что позволяет снизить затраты на отопление более чем в 5 раз. Конструкция термопанели позволяет получить звукоизоляцию от воздушного звука свыше 60 дБ между отсеками.

Масса 1 стены составляет 40-53 кг при толщине 154-204 мм., а с облицовкой отделочными материалами от 57 до 200 кг в зависимости от их типа, аналогичный показатель для стен и облицовок из традиционных материалов от 300 до 1055 кг. Этот фактор позволяет существенно сократить затраты на транспортировку и грузоподъемные операции.

1.6.10. Экономия пространства

Уменьшенная толщина термопанели по сравнению с традиционными стеновыми материалами позволяет создавать до 7% дополнительной площади помещений здания

1.7. Воздействие воздушной ударной волны на здания

Взрыв – это процесс чрезвычайно быстрого превращения вещества, сопровождающийся выделением большого количества энергии. В результате взрыва вещество, заполнявшее определенный объем, превращается, как правило, в сильно нагретый и сжатый газ (продукты взрыва). Область, заполненная продуктами взрыва, стремительно расширяется, сжимая и приводя в движение окружающую среду. Порожденное взрывом движение внешней среды проявляется в виде специфического волнового процесса – ударной волны. Ударная волна распространяется со сверхзвуковой скоростью. По мере удаления от центра взрыва скорость ударной волны снижается и на больших расстояниях приближается к звуковой. Ударная волна является основным поражающим фактором взрыва.

Взрывы могут быть вызваны различными физическими или химическими явлениями.

В инженерной практике и военном деле широкое распространение получили химические взрывчатые вещества (ВВ). Они используются при ведении строительных и горных работ.

Химические ВВ представляют собой относительно неустойчивые в термодинамическом смысле системы, способные под влиянием внешних ударных или тепловых воздействий к быстрым экзотермическим превращениям. Источник энергии таких взрывов заключается в энергии молекулярных связей. При взрыве происходит превращение относительно сложных нестойких молекул исходного вещества в молекулы более простых и стойких веществ.

На основании известных положений термохимии можно выяснить, способно или неспособно данное вещество к взрыву. Для этого определяют тепловой эффект превращения вещества А в вещества В, С, D (в общем случае таких веществ может быть и больше).

При взрыве имеет место соотношение:

$$A=B+C+D+Q_v,$$

Где Q_v – теплота (энергия), высвобождаемая при взрывчатом превращении.

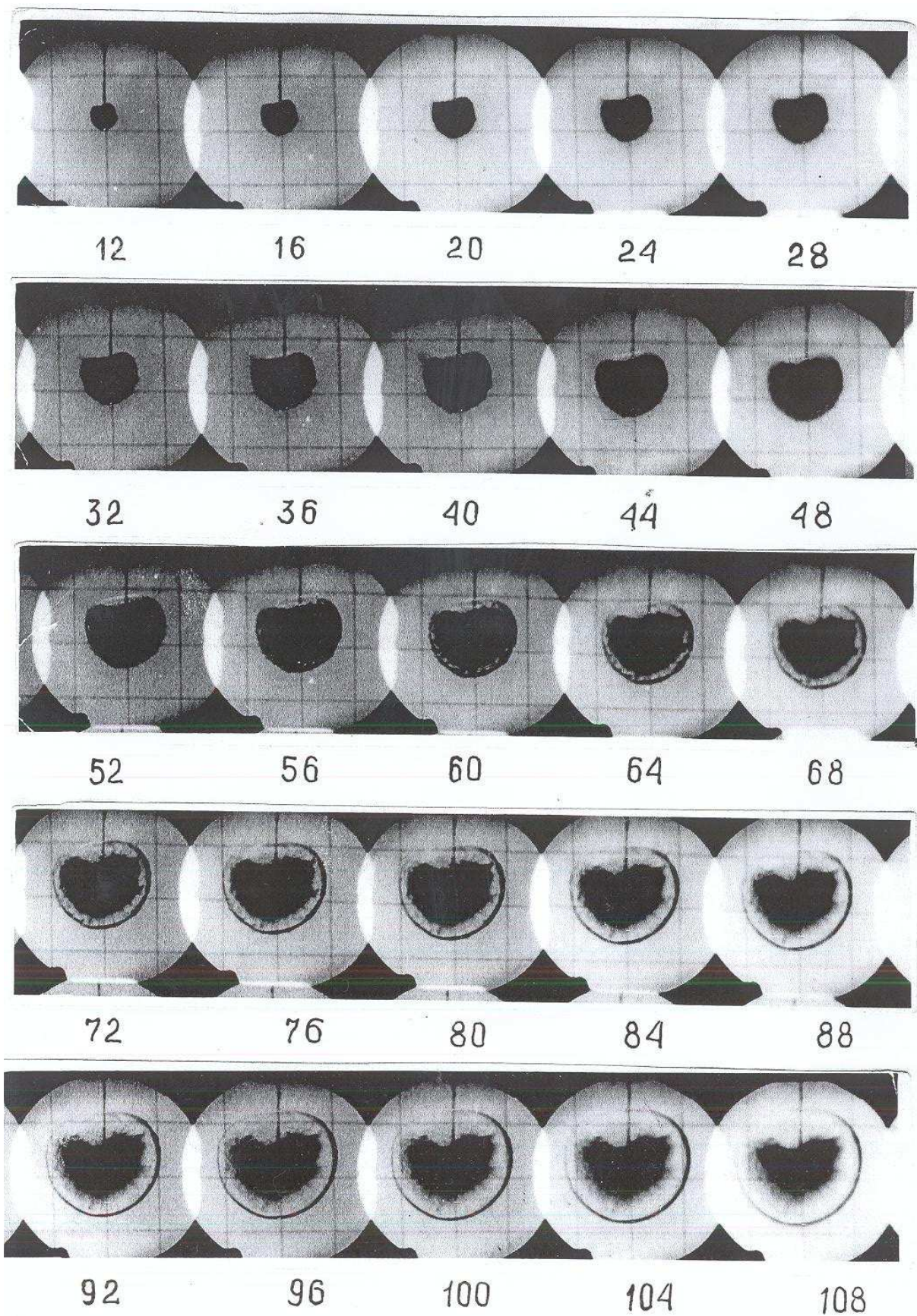


Рис. 12. Взрыв капли азида свинца в воздухе (частота съемки $f=1 \cdot 10^6$ кадров/сек, время между кадрами 4мкс).

Согласно закону Гесса Г.Г. величина Q_v определяется как разность между суммой теплот образования продуктов взрыва (Q_B, Q_C, Q_D) и теплотой образования взрывчатого вещества (Q_A).

Теплотой образования называется тепловой эффект, получающийся при образовании одного грамм-моля вещества из свободных элементов в стандартных условиях. За стандартные условия принимают температуру 25°C и давление 1 атм. Всех веществ, участвующих в реакции.

Величина Q_v является критерием мощности взрыва.

Важной характеристикой взрыва является скорость распространения взрывчатого превращения. В зависимости от величины этой скорости различают дефлаграционное (дозвуковое) горение и детонацию.

При детонации процесс взрывчатого превращения идет с максимально возможной для данного вещества скоростью, превышающей скорость звука. Скорость детонации является определенной константой каждого ВВ. В условиях детонации достигается максимальное разрушительное действие взрыва.

Давление в сжатом за фронтом волны шаровом слое воздуха – фазе сжатия, быстро снижается и переходит далее в фазу разрежения с давлением меньше атмосферного. Вслед за фронтом ударной волны с большой скоростью движется поток воздуха, а в фазе разрежения этот поток движется в обратном направлении – к центру взрыва. Изменение давления в какой-либо точке пространства при прохождении через нее ударной волны показано на рис.13.

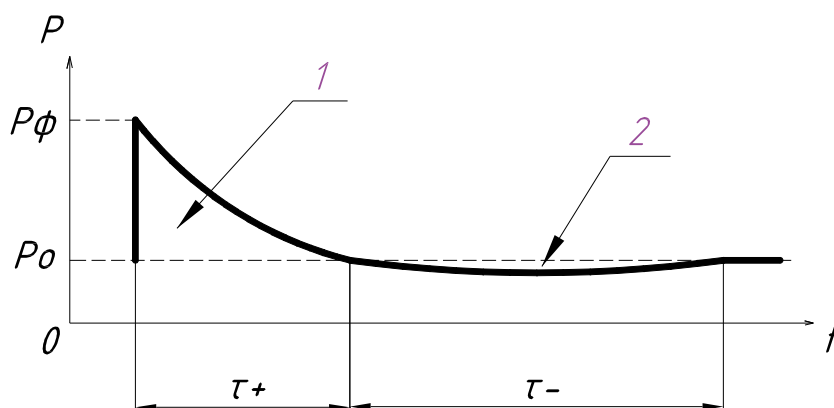


Рис.13. Эюра ударной волны

1-фаза сжатия, 2-фаза разрежения

Передняя граница сжатой области называется фронтом ударной волны, а сама область – фазой сжатия. За фазой сжатия следует фаза разрежения, в которой давление воздуха ниже существовавшего до прихода волны. Разность $\Delta P_\phi = P_\phi - P_0$, где P_0 – атмосферное давление, называется избыточным давлением во фронте ударной волны, время t_+ - длительностью фазы сжатия, время t_- - длительностью фазы разрежения. Воздух в фазе сжатия движется в сторону распространения фронта, в фазе разрежения в противоположном направлении.

Скорость фронта ударной волны N_ϕ , м/с, скорость воздуха V_ϕ , м/с, плотность воздуха ρ_ϕ , кг/м³, за фронтом в зависимости от величины давления ΔP_ϕ , Па, определяется по формулам:

$$N_\phi = c_0 \sqrt{1 + \frac{\kappa + 1}{2\kappa} \cdot \frac{\Delta P_\phi}{P_0}} \quad (1)$$

$$V_{\phi} = \frac{c_0}{\kappa} \cdot \frac{\Delta P_{\phi} / P_0}{\sqrt{1 + \frac{\kappa + 1}{2\kappa} \cdot \frac{\Delta P_{\phi}}{P_0}}} \quad (2)$$

$$\rho_{\phi} = \frac{\rho_0 \left(1 + \frac{\kappa + 1}{2\kappa} \cdot \frac{\Delta P_{\phi}}{P_0}\right)}{1 - \frac{\kappa - 1}{2\kappa} \cdot \frac{\Delta P_{\phi}}{P_0}} \quad (3),$$

где c_0 – скорость звука;

ρ_0 - плотность воздуха в невозмущенной атмосфере;

$\kappa = C_p/C_v = 1,4$ – показатель адиабаты воздуха.

Поражающее действие ударной волны связано в основном с действием избыточного давления и скоростного напора воздуха в фазе сжатия.

Изменение давления во времени в фазе сжатия определяется соотношением вида:

$$\Delta P_+(t) = \Delta P_{\phi} \left(1 - \frac{t}{\tau_+}\right)^n \quad (4),$$

где $n = 0,19\sqrt{\Delta P_{\phi}}$ при $\Delta P_{\phi} \geq 28$ кПа

$n = 1,0$ при $\Delta P_{\phi} < 28$ кПа

Максимальное давление скоростного напора воздуха за фронтом ударной волны $\Delta P_{ск}$, Па, находится по соотношению:

$$\Delta P_{ск} = c_x \frac{\rho_{\phi} V_{\phi}^2}{2} \quad (5),$$

где c_x – коэффициент лобового сопротивления тела.

Основные параметры ударной волны: давление во фронте ΔP_{ϕ} , длительность фазы сжатия τ_+ , импульс давления в фазе сжатия I_+ зависят от мощности взрыва, удаления точки наблюдения от центра взрыва, а также вида взрыва. В зависимости от условий взрыва различают наземный и воздушный взрывы.

1.7.1. Наземный взрыв

При авариях в промышленности и на транспорте, как правило, имеет место наземный взрыв.

При наземном взрыве фронт воздушной ударной волны имеет форму полусферы:

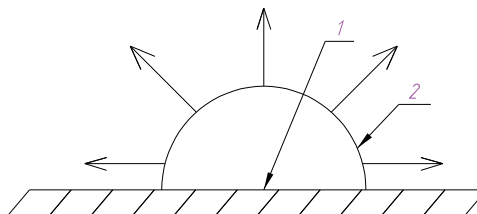


Рис. 14. Схема наземного взрыва
1-центр взрыва, 2-фронт ударной волны.

Избыточное давление во фронте ударной волны при взрыве тротилового заряда определяется по формуле М.А. Садовского:

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 390 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 1300 \frac{G}{R^3} \quad (6),$$

где ΔP_{ϕ} – избыточное давление, кПа;

G – масса тротилового заряда, кг;
R – расстояние от центра взрыва, м.

Формула справедлива в широком диапазоне изменения давления ΔP_ϕ от нескольких кПа до нескольких тысяч кПа.

Длительность фазы сжатия τ_+ , с, рассчитывается по соотношению:

$$\tau_+ = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{G} \cdot \sqrt{R} \quad (7),$$

где величины G, R имеют прежний смысл.

Максимальное давление разрежения в фазе разрежения (ΔP) по абсолютной величине существенно меньше максимального давления в фазе сжатия (ΔP_ϕ), длительность фазы разрежения $\tau_- > \tau_+$.

Импульс давления в фазе сжатия определяется по соотношению:

$$I_+ = \int_0^{\tau_+} \Delta P_\phi \left(1 - \frac{t}{\tau_+}\right)^n dt = \frac{\Delta P_\phi \cdot \tau_+}{n+1} \quad (8)$$

Для определения импульса давления используется также формула:

$$I_+ = A \frac{G^{2/3}}{R} \quad (9),$$

где I_+ - импульс давления в фазе сжатия, кПа·с;

G – тротильный эквивалент взрыва, кг;

R – расстояние от центра взрыва, м;

A – численный коэффициент ($A \approx 0,35$).

В приближенных расчетах по оценке воздействия взрыва на различные сооружения изменение давления в фазе сжатия часто принимают в виде:

$$\Delta P_+(t) = \Delta P_\phi \left(1 - \frac{t}{\tau_{\text{эф}}}\right) \quad (10),$$

где величину $\tau_{\text{эф}}$ находят из условия равенства импульсов давления в фазе сжатия эпюр вида:

$$I_+ = \frac{\Delta P_\phi \cdot \tau_+}{n+1} = \frac{\Delta P_\phi \cdot \tau_{\text{эф}}}{2} \quad (11)$$

Отсюда:

$$\tau_{\text{эф}} = \frac{2I_+}{\Delta P_\phi} = \frac{2\tau_+}{n+1} \quad (12)$$

Определим давление во фронте воздушной ударной волны при наземном взрыве тротилового заряда массой G=25 кг на расстоянии R=100 м от центра взрыва.

Величину давления ΔP_ϕ вычисляем по формуле (6):

$$\Delta P_\phi = 95 \frac{\sqrt[3]{25}}{100} + 390 \frac{\sqrt[3]{25^2}}{100^2} + 1300 \frac{25}{100^3} = 3,14 \text{ кПа}$$

1.7.2. Воздушный взрыв

Воздушный взрыв подразделяется на взрыв в однородной атмосфере и взрыв над отражающей поверхностью земли.

При взрыве в однородной атмосфере фронт волны имеет форму сферы.

Избыточное давление во фронте рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_\phi = 76 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 246 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 650 \frac{G}{R^3} \quad (13)$$

Длительность фазы сжатия:

$$\tau_+ = 1,3 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[6]{G} \cdot \sqrt{R} \quad (14)$$

В формулах (13) и (14) величины G и R имеют то же значение, что и в формулах (6), (7).

Следует отметить, что формулы (13) и (14) переходят в формулы (6), (7) при замене величины G на $2G$. Это связано с тем обстоятельством, что при воздушном взрыве энергия взрыва распределяется во всем воздушном пространстве, при наземном – в полупространстве. При этом наземный взрыв оказывается как бы вдвое мощнее воздушного.

Импульс давления в фазе сжатия ударной волны при воздушном взрыве определяется по формуле (8), в которой значения ΔP_{ϕ} , τ_+ находятся по соотношениям (13), (14).

При взрыве над поверхностью земли до встречи с этой поверхностью фронт волны также имеет форму сферы, рис.

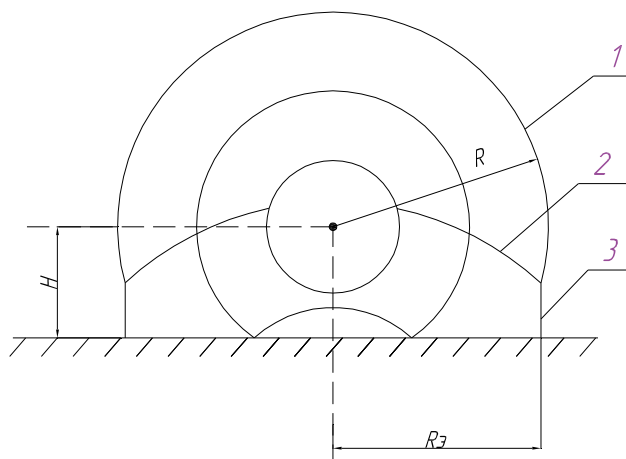


Рис. 15. Схема воздушного взрыва
1-падающая волна, 2- отраженная волна, 3 –головная волна

При встрече с поверхностью земли ударная волна отражается. У поверхности земли отраженная волна распространяется быстрее падающей – она движется по слою воздуха, сжатого падающей волной, поэтому на определенном расстоянии она догоняет падающую волну и сливается с ней, образуя головную волну. Область, где падающая и отраженные волны еще не сливаются (они имеют общую точку пересечения фронтов на поверхности земли), называется областью регулярного отражения. Радиус этой области примерно равен высоте взрыва. Область, где возникает головная волна, называется областью нерегулярного отражения.

Давление во фронте ударной волны у поверхности земли определяется по формулам:

- в области регулярного отражения ($R_3 \leq H$)

$$\Delta P_{\text{отр}} = 2\Delta P_{\phi} + \frac{\frac{\kappa+1}{\kappa-1} \cdot \Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + \frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot P_0} = 2\Delta P_{\phi} + \frac{6\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 7P_0} \quad (15)$$

- в области нерегулярного отражения ($H < R_3 < 8H$)

$$\Delta P_{\text{г.в.}} = \Delta P \left[1 + 7 \frac{(\Delta P_{\phi} + P_0)(R + H)}{(\Delta P_{\phi} + 7P_0) \cdot 2R} \right] \quad (16),$$

где $\Delta P_{\text{отр}}$ – давление отражения;

$\Delta P_{\text{г.в.}}$ – давление во фронте головной волны;

ΔP_{ϕ} – давление во фронте падающей волны, рассчитываемое по формуле (13);

P_0 – атмосферное давление;

$R = \sqrt{R_3^2 + H^2}$ - расстояние от центра взрыва до точки наблюдения на поверхности земли;

$\kappa=1,4$ – показатель адиабаты воздуха.

При $R_э > 8H$ давление во фронте головной волны определяется по формуле (7), как при наземном взрыве.

Определим давление на поверхности земли в точке $R_э=0$ при воздушном взрыве тротилового заряда массой $G=25$ кг на высоте $H=100$ м.

По формуле (13) определяем давление во фронте падающей волны:

$$\Delta P_{\phi} = 76 \frac{\sqrt[3]{25}}{100} + 246 \frac{\sqrt[3]{25^2}}{100^2} + 650 \frac{25}{100^3} = 2,45 \text{ кПа}$$

По формуле (15) находим искомое давление отражения:

$$\Delta P_{\text{отр}} = 2 \cdot 2,45 + \frac{6 \cdot 2,45^2}{2,45 + 7 \cdot 101} = 4,95 \text{ кПа}$$

Определим давление на поверхности земли в точке $R_э=100$ м при взрыве тротилового заряда массой $G=25$ кг на высоте $H=75$ м.

Определяем расстояние от центра взрыва до точки наблюдения:

$$R = \sqrt{25^2 + 75^2} = 79 \text{ м}$$

По формуле (13) вычисляем давление во фронте падающей волны:

$$\Delta P_{\phi} = 76 \frac{\sqrt[3]{25}}{79} + 246 \frac{\sqrt[3]{25^2}}{79^2} + 650 \frac{25}{79^3} = 3,18 \text{ кПа}$$

По формуле (16) находим искомое давление во фронте головной волны:

$$\Delta P_{\text{г.в.}} = 3,18 \left[1 + 7 \frac{(3,18 + 101)(79 + 75)}{(3,18 + 7 \cdot 101) \cdot 2 \cdot 79} \right] = 6,36 \text{ кПа}$$

1.7.3. Учет энергии взрыва различных ВВ

При взрыве зарядов, различающихся по величине теплоты (энергии) взрыва Q_v , расчет давления во фронте воздушной ударной волны проводится по формулам (7) и (13), в которых под величиной G подразумевается величина:

$$G = \frac{Q_v}{Q_{v.\text{тр.}}} G_0 \quad (17),$$

где G_0 – масса рассматриваемого заряда, кг;

Q_v – теплота взрыва 1 кг массы этого заряда, Дж/кг;

$Q_{v.\text{тр.}}$ – теплота взрыва 1 кг тротила, Дж/кг.

Величину G принято называть тротильным эквивалентом взрыва исходного заряда.

1.7.4. Закон подобия при взрывах

При воздушном взрыве в однородной атмосфере и наземном взрыве зарядов различной массы G_1 и G_2 (с одним и тем же значением Q_v) одинаковые величины давления во фронте ударной волны будут иметь место на расстояниях, определяемых соотношением:

$$\frac{R_2}{R_1} = \sqrt[3]{\frac{G_2}{G_1}} \quad (18)$$

Импульсы давления в фазах сжатия ударных волн взрывов этих зарядов и продолжительности фаз сжатия на расстояниях R_1 и R_2 , определяемых соотношением (18), соотносятся в виде:

$$\frac{I_{+2}}{I_{+1}} = \sqrt[3]{\frac{G_2}{G_1}}, \quad \frac{\tau_{+2}}{\tau_{+1}} = \sqrt[3]{\frac{G_2}{G_1}} \quad (19)$$

В случае воздушного взрыва над поверхностью земли соотношению (18) удовлетворяют как эпицентрального расстояния $R_э$, так и высота взрыва H .

1.7.5. Действие воздушной ударной волны

Действие ударной волны является динамической нагрузкой, которая определяется как параметрами волны, так и размерами, формой и прочностью сооружения.

В момент соударения ударной волны с лобовой поверхностью сооружения на ней возникает давление отражения, определяемое по формуле (15). По мере прохождения ударной волной расстояния, превышающего примерно 2-4 длины сооружения (по ходу волны), давление на лобовой поверхности уменьшается до величины, равной сумме давлений в проходящей волне и скоростного напора. Оно называется давлением обтекания. При этом на боковые и верхнюю поверхности сооружения действует давление несколько больше, на тыльную – несколько меньше, чем в проходящей волне.

В приближенных расчетах изменение давления в фазе сжатия ударной волны обычно принимают в виде (11).

Применительно к промышленным и жилым зданиям традиционной формы параллелепипеда изменение давления во времени в точках на лобовой, боковой (верховой) и тыльной гранях при воздействии волны показано на рис. 16, возникающие при этом нагрузки – на рис. 17.

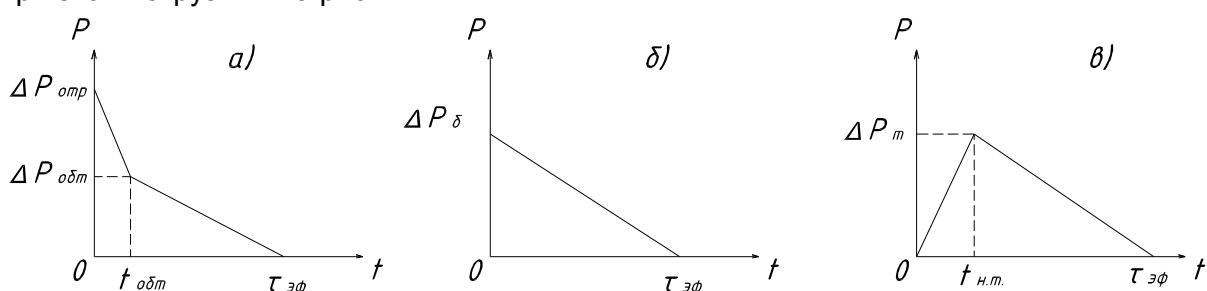


Рис. 16. Изменение давления во времени в точках на лобовой (а), боковой(б), тыльной(в) гранях.

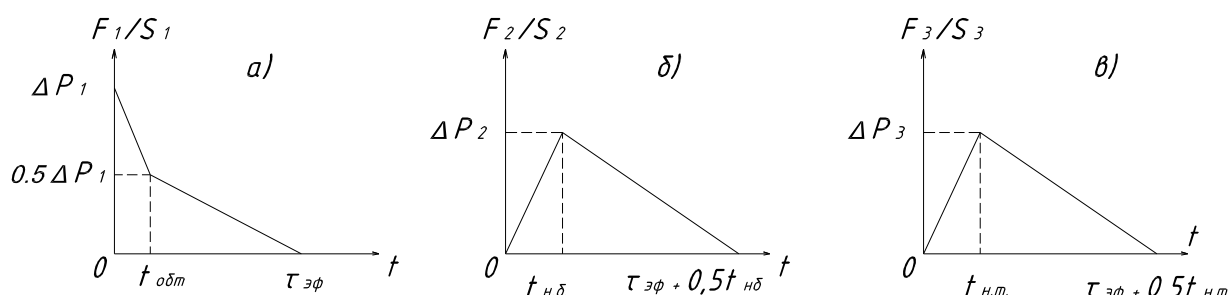


Рис. 17. Удельные нагрузки на лобовую (а), боковую (б), тыльную (в) грани сооружения при воздействии ударной волны.

Здесь обозначено:

$$\Delta P_{отр} = 2\Delta P_{\phi} + \frac{6\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 7P_0} - \text{давление отражения на лобовой грани};$$

$$\Delta P_{обт} \approx 0,5\Delta P_{отр} - \text{давление обтекания (максимальное значение)};$$

ΔP_{δ} , ΔP_{τ} – максимальное давление на боковой (верховой) и тыльной гранях соответственно; при величине давления $\Delta P_{\phi} \leq 100 \text{ кПа}$ значения

$$\Delta P_{\phi} \leq \Delta P_{\delta} \leq 4/3\Delta P_{\phi}, \quad \Delta P_m \approx (0,6 \div 0,9)\Delta P_{\phi}$$

$$t_{обт} = 2h / C_{отр} \quad \text{при } 2h < b$$

$$t_{обт} = b / C_{отр} \quad \text{при } 2h > b - \text{время установления давления обтекания};$$

$$t_{н.м.} = 2h / N_{\phi} \quad \text{при } 2h < b$$

$t_{н.м.} = b / N_{\phi}$ при $2h > b$ – время нарастания давления затекания (и нагрузки) на тыльной грани до максимального значения;

$t_{н.б.} = a / N_{\phi}$ - время нарастания нагрузки на боковой (верховой) грани до максимального значения

F_1, F_2, F_3 – нагрузки на лобовую, боковую (верховую), тыльную грани соответственно;

$S_1 = b \cdot h, S_2 = a \cdot h$ (или $a \cdot b$), $S_3 = b \cdot h$ - площадь лобовой, боковой (верховой), тыльной граней соответственно;

$$\Delta P_1 = \Delta P_{отр.}, \Delta P_2 = \Delta P_{\phi} \left(1 - \frac{t_{н.б.}}{2 \cdot \tau_{\phi}}\right), \Delta P_3 = \Delta P_m \left(1 - \frac{t_{н.м.}}{2 \cdot \tau_{\phi}}\right)$$

$C_{отр}$ – скорость звука за фронтом отраженной волны;

$$N_{\phi} = C_0 \cdot \sqrt{1 + 0,83 \cdot \frac{\Delta P_{\phi}}{P_0}}$$
 - скорость распространения фронта ударной волны;

C_0 – скорость звука в воздухе.

1.7.6. Краткая характеристика степеней разрушения зданий

1.7.6.1. Слабое разрушение

Повреждение или частичное разрушение оконных и дверных проемов, легких перегородок. Частичное разрушение или повреждение крыши. Возможны трещины в стенах верхних этажей. Эти разрушения могут быть устранены в порядке ремонта различной сложности и объема. Ущерб составляет 10-15 % от стоимости здания.

1.7.6.2. Среднее разрушение

Разрушение крыш, окон и дверей, встроенных перегородок; трещины в стенах. Частичное обрушение чердачных перекрытий и стен верхних этажей. После расчистки и ремонта можно использовать помещения нижних этажей. Полное восстановление возможно при капитальном ремонте здания. Ущерб составляет 30-40% от стоимости здания.

1.7.6.3. Сильное разрушение

Разрушение несущих конструкций и перекрытий верхних этажей, деформация перекрытий нижних этажей. Ремонт и восстановление затруднительны. Ущерб достигает 50-70% от стоимости здания, сооружения.

1.7.6.4. Полное разрушение

Разрушение или обрушение всех или большей части стен, сильная деформация или обрушение перекрытий. Из обломов образуется завал в пределах контура здания и вокруг него. Ущерб составляет ~100% от стоимости здания, сооружения.

Здание, сооружение	Давление ΔP_{ϕ} , кПа, вызывающее разрушение		
	сильное	среднее	слабое
Промышленное здание с тяжелым металлическим каркасом	40-60	30-40	20-30
Промышленное здание с легким металлическим каркасом или бескаркасной конструкции	35-45	25-35	10-20
Кирпичное многоэтажное здание (3 этажа и более)	20-30	12-20	8-12
Кирпичное малоэтажное здание (1-2 этажа)	25-35	15-25	10-15
Деревянный дом	12-20	8-12	6-8

Остекление	2-4	1-2	0,6-1
Подземные сети коммунального хозяйства (водопровод, газопровод, канализация)	1000-1500	600-1000	400-600

Таблица 3. Поражение зданий, сооружений при взрыве.

1.8. Выводы по главе. Постановка задачи исследования.

За последние годы строительство каркасно-монолитных многоэтажных жилых домов в Санкт-Петербурге заметно выросло. Увеличилось количество возводимых зданий, при этом застройщики пытаются сократить до минимума временные и стоимостные затраты.

Проведенный анализ показал, что при использовании в качестве ограждающих конструкций термопанелей, значительно уменьшается время строительства, трудозатраты и стоимость. При этом обеспечиваются все необходимые качества ограждающих стен.

Увеличение объема знаний по этой теме приведет к более качественному и быстрому темпу проектирования. В результате можно обеспечить сокращение сроков строительства жилых многоэтажных каркасно-монолитных зданий. А это в свою очередь существенно скажется на экономической эффективности домостроения.

Анализ имеющихся публикаций показывает, что термопанели в последнее время получают широкое применение, однако используется, как правило, упрощенный подход к их применению, в основном это малоэтажные дома, коттеджи. При этом отсутствуют расчеты полного каркаса термопанели.

Таким образом, научная проблема заключается в отсутствии модели, адекватно описывающей процесс жилищного строительства с термопанелями с учетом инженерно-экономических задач строительства.

В имеющихся публикациях рассмотрена конструкция термопанели, состоящая из перфорированных термопрофилей. Выполнены расчеты по воздействию нагрузок на термопрофиль. Отсутствует расчет полного каркаса термопанели, состоящего из вертикальных и горизонтальных термопрофилей, а также его вариации по сечению и высоте. В работе Е.Н. Поповой [5] (ГОУ СПбГПУ) доказано, что перфорация не влияет на прочностные характеристики профиля.

В современных условиях могут возникать ситуации несанкционированных техногенных взрывов, таких как случайный взрыв баллона, взрыв при перевозке взрывчатых веществ, террористические акты, утечки газа внутри здания. Целесообразно производить оценку действия возникающих сейсмозрывных и ударных воздушных волн на ограждающие конструкции. Такой оценки по отношению к термопанели ранее не производилось.

Из изложенного вытекают следующие задачи настоящей работы:

1. Разработка модели напряженно-деформированного состояния термопанели в виде каркаса из термопрофилей.
2. Исследование в программе SCAD различных типоразмеров термопанели на действие постоянных и временных нагрузок.
3. Оценка действия ударной воздушной волны на термопанель.
4. Выработка рекомендаций по применению термопанелей.

2. Моделирование каркаса термопанели в программе SCAD

Смоделируем каркас термопанели, состоящий из профилей ТС-175-1,2 и ТУ-179-1,2. Рассматриваемые профили имеют перфорацию. Но в нашей модели она не учитывается, т.к. в результате исследований и расчетов [5], выполненных специалистом в области металлических конструкций Е.Н. Поповой, они не влияют на прочностные характеристики профиля.

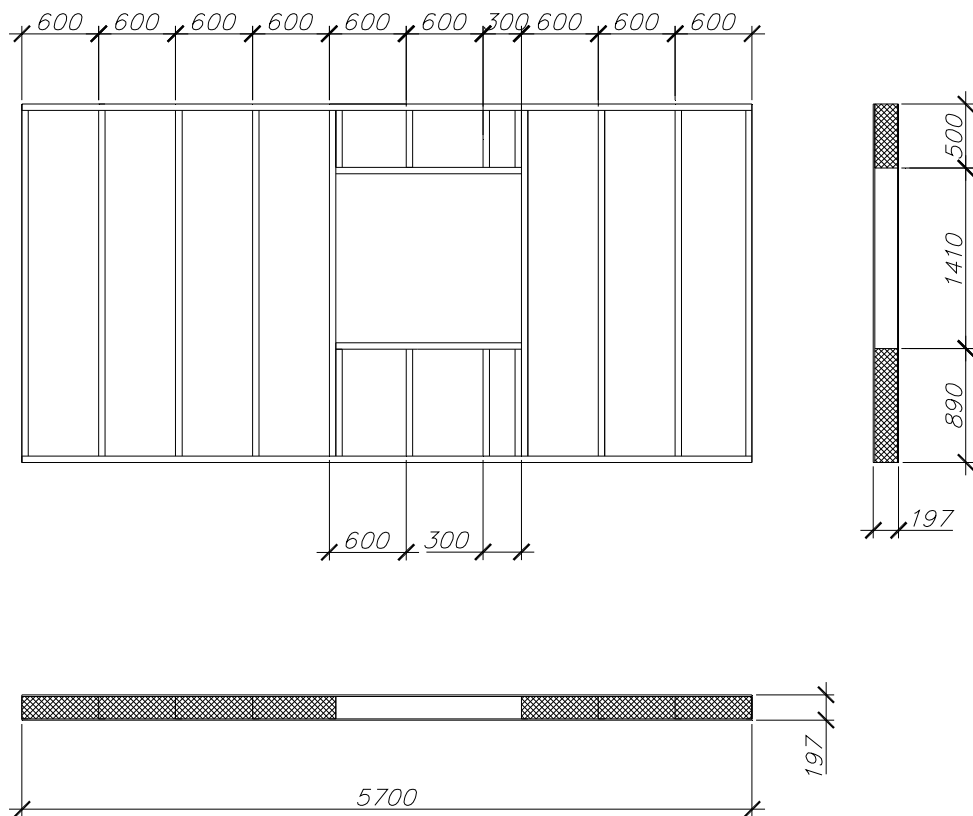


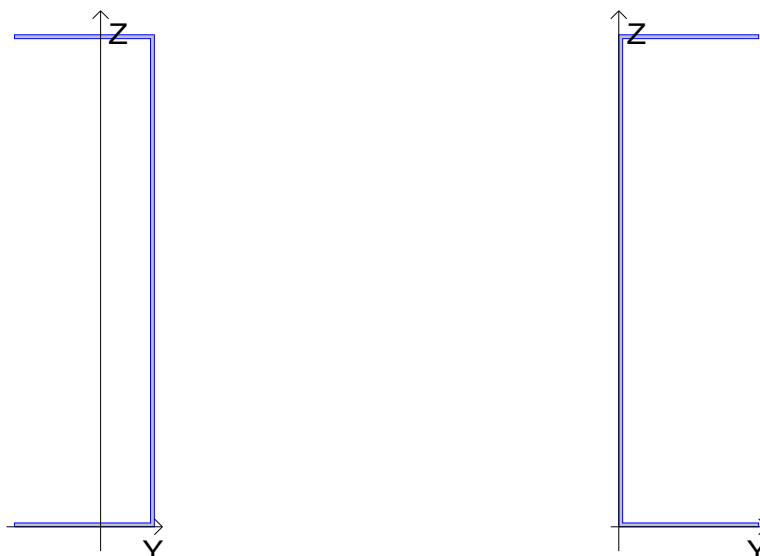
Рис. 18. Модель – термопанель.

Для сравнения рассмотрим 2 типоразмера термопанели, 5700x2800мм и 8700x2800мм, для удобства обозначим их №1 и №2 соответственно.

2.6. Создание нового сечения профиля в программе Консул

Создаем новые произвольные сечения в программе Консул. Результаты представлены ниже:

Сечение ТС-175-1,2. Данный профиль используется в качестве вертикальных стоек каркаса термопанели.

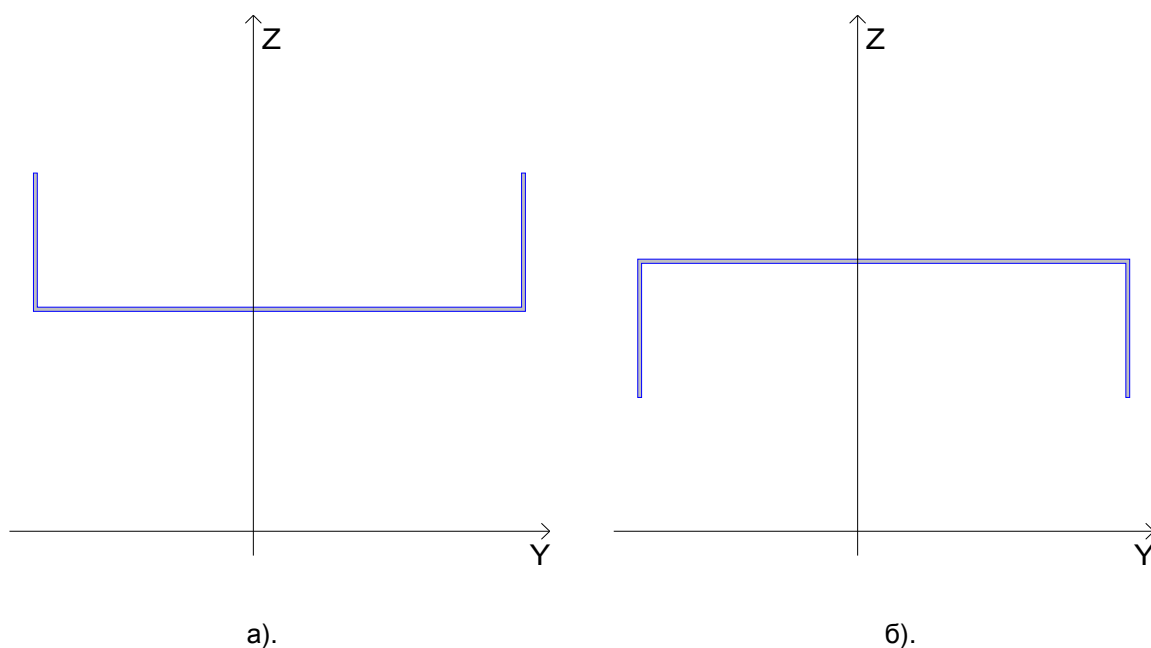


Габариты 0.05 x 0.175 м

Геометрические характеристики			
	Параметр	Значение	Единицы измерения
A	Площадь поперечного сечения	3.271	см ²
A _{v,y}	Условная площадь среза вдоль оси U	0.549	см ²
A _{v,z}	Условная площадь среза вдоль оси V	1.896	см ²
α	Угол наклона главных осей инерции	0	град
I _y	Момент инерции относительно центральной оси Y1 параллельной оси Y	142.04	см ⁴
I _z	Момент инерции относительно центральной оси Z1 параллельной оси Z	7.026	см ⁴
I _t	Момент инерции при свободном кручении	0.015	см ⁴
I _w	Секториальный момент инерции	384.049	см ⁶
i _y	Радиус инерции относительно оси Y1	6.589	см
i _z	Радиус инерции относительно оси Z1	1.466	см
W _{u+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси U	16.233	см ³
W _{u-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси U	16.233	см ³
W _{v+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси V	1.737	см ³
W _{v-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси V	7.356	см ³
W _{pl,u}	Пластический момент сопротивления относительно оси U	19.365	см ³
W _{pl,v}	Пластический момент сопротивления относительно оси V	3.927	см ³
I _u	Максимальный момент инерции	142.04	см ⁴
I _v	Минимальный момент инерции	7.026	см ⁴
i _u	Максимальный радиус инерции	6.589	см
i _v	Минимальный радиус инерции	1.466	см
a _{u+}	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U)	0.531	см
a _{u-}	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U)	2.249	см
a _{v+}	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V)	4.962	см
a _{v-}	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V)	4.962	см
y _m	Координата центра масс по оси Y	0.955	см
z _m	Координата центра масс по оси Z	8.75	см
Y _b	Координата центра изгиба по оси Y	3.406	см
Z _b	Координата центра изгиба по оси Z	8.75	см
P	Периметр	54.76	см
P _i	Внутренний периметр	0	см
P _e	Внешний периметр	54.76	см
I ₁	Момент инерции относительно глобальной оси Y	145.024	см ⁴
I ₂	Момент инерции относительно глобальной оси Z	257.477	см ⁴
I ₁₂	Центробежный момент инерции относительно глобальных осей	27.337	см ⁴
I _p	Полярный момент инерции	149.066	см ⁴
i _p	Полярный радиус инерции	6.75	см

W_p	Полярный момент сопротивления	160.417	см ³
-------	-------------------------------	---------	-----------------

Сечение ТУ-179-1,2. Данный профиль используется в качестве нижнего (а) и верхнего (б) пояса каркаса термопанели.



Габариты 0.179 x 0.05 м

Геометрические характеристики			
	Параметр	Значение	Единицы измерения
A	Площадь поперечного сечения	3.319	см ²
$A_{v,y}$	Условная площадь среза вдоль оси U	0.542	см ²
$A_{v,z}$	Условная площадь среза вдоль оси V	1.943	см ²
α	Угол наклона главных осей инерции	90	град
I_y	Момент инерции относительно центральной оси Y1 параллельной оси Y	7.064	см ⁴
I_z	Момент инерции относительно центральной оси Z1 параллельной оси Z	149.917	см ⁴
I_t	Момент инерции при свободном кручении	0.015	см ⁴
I_w	Секториальный момент инерции	405.081	см ⁶
i_y	Радиус инерции относительно оси Y1	1.459	см
i_z	Радиус инерции относительно оси Z1	6.721	см
W_{u+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси U	16.751	см ³
W_{u-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси U	16.751	см ³
W_{v+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси V	1.741	см ³
W_{v-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси V	7.498	см ³
$W_{pl,u}$	Пластический момент сопротивления относительно оси U	20.024	см ³
$W_{pl,v}$	Пластический момент сопротивления относительно оси V	3.952	см ³
I_u	Максимальный момент инерции	149.917	см ⁴
I_v	Минимальный момент инерции	7.064	см ⁴

I_u	Максимальный радиус инерции	6.721	CM
I_v	Минимальный радиус инерции	1.459	CM
a_{u+}	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U)	0.524	CM
a_{u-}	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U)	2.259	CM
a_{v+}	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V)	5.047	CM
a_{v-}	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V)	5.047	CM
y_m	Координата центра масс по оси Y	0.942	CM
z_m	Координата центра масс по оси Z	8.95	CM
Y_b	Координата центра изгиба по оси Y	0.943	CM
Z_b	Координата центра изгиба по оси Z	6.525	CM
P	Периметр	55.56	CM
P_i	Внутренний периметр	0	CM
P_e	Внешний периметр	55.56	CM
I_1	Момент инерции относительно глобальной оси Y	10.01	CM ⁴
I_2	Момент инерции относительно глобальной оси Z	415.793	CM ⁴
I_{12}	Центробежный момент инерции относительно глобальных осей	27.988	CM ⁴
I_p	Полярный момент инерции	156.981	CM ⁴
i_p	Полярный радиус инерции	6.877	CM
W_p	Полярный момент сопротивления	162.559	CM ³

2.7. Сбор нагрузок на каркас термопанели

Сбор нагрузок производился вручную, за исключением нагрузки от собственного веса, а также ветровой, которая была вычислена с помощью программы West.

2.7.1. Постоянные нагрузки

К постоянным нагрузкам в нашем случае относится:

- собственный вес каркаса термопанели.

Автоматически учитывается при расчете в SCAD, когда задаем параметрические сечения профилей каркаса.

- «навесные» нагрузки – вес кассет вентилируемых фасадов, внутренней отделки ограждающей стены, оборудования (радиаторы).

В качестве наружной отделки принимаем вентилируемые фасады в виде стальных кассет размером 2мх2м. Их собственный вес составляет 10кг/м².

В качестве внутренней отделки принимаем максимально возможный вес облицовочной плитки и радиатор, что дает нагрузку 12кг/м².

Суммарная «навесная» нагрузка составляет 22кг/м², что соответствует погонной нагрузке 13,2 кг/м, учитывая что шаг вертикальных профилей в каркасе составляет 0,6м.

- нагрузка от оконного заполнения.

В качестве оконного заполнения принимаем двухкамерный стеклопакет размером 1500х1400мм. Собственный вес такого стеклопакета составляет 30кг/м², что соответствует погонной нагрузке 42кг/м.

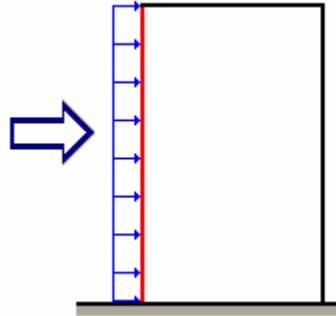
2.7.2. Кратковременные нагрузки

К кратковременным нагрузкам в нашем случае относится:

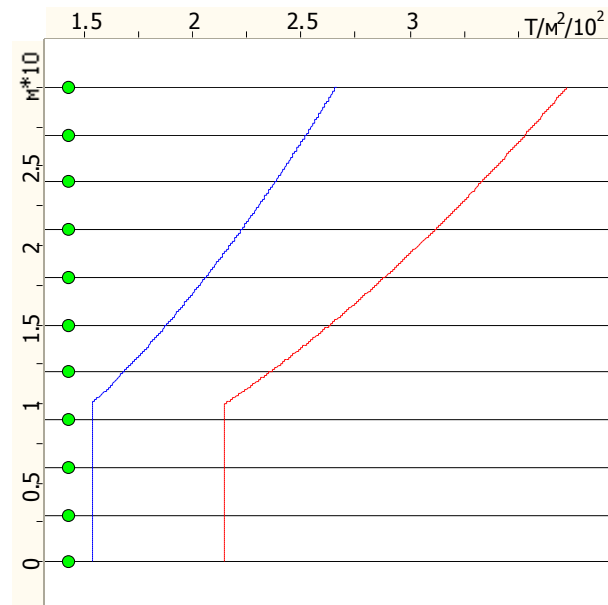
- Ветровая нагрузка

Ветровую нагрузку рассчитаем в программе West. В качестве исходных данных принимаем, что наша термопанель находится на 10 этаже, т.е. высота здания составляет 30 метров. Результаты расчетов приведены ниже:

Исходные данные	
Ветровой район	IV
Нормативное значение ветрового давления	0,048 Т/м ²
Тип местности	С - городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м
Тип сооружения	Вертикальные и отклоняющиеся от вертикальных не более чем на 15° поверхности



Параметры	
Поверхность	Наветренная поверхность
Шаг сканирования	3 м
Коэффициент надежности по нагрузке γ_f	1,4
H	30 м



Высота (м)	Нормативное значение (Т/м ²)	Расчетное значение (Т/м ²)
0	0,015	0,022
3	0,015	0,022
6	0,015	0,022
9	0,015	0,022
12	0,017	0,024
15	0,019	0,026
18	0,021	0,029
21	0,022	0,031
24	0,024	0,033
27	0,025	0,035
30	0,027	0,037

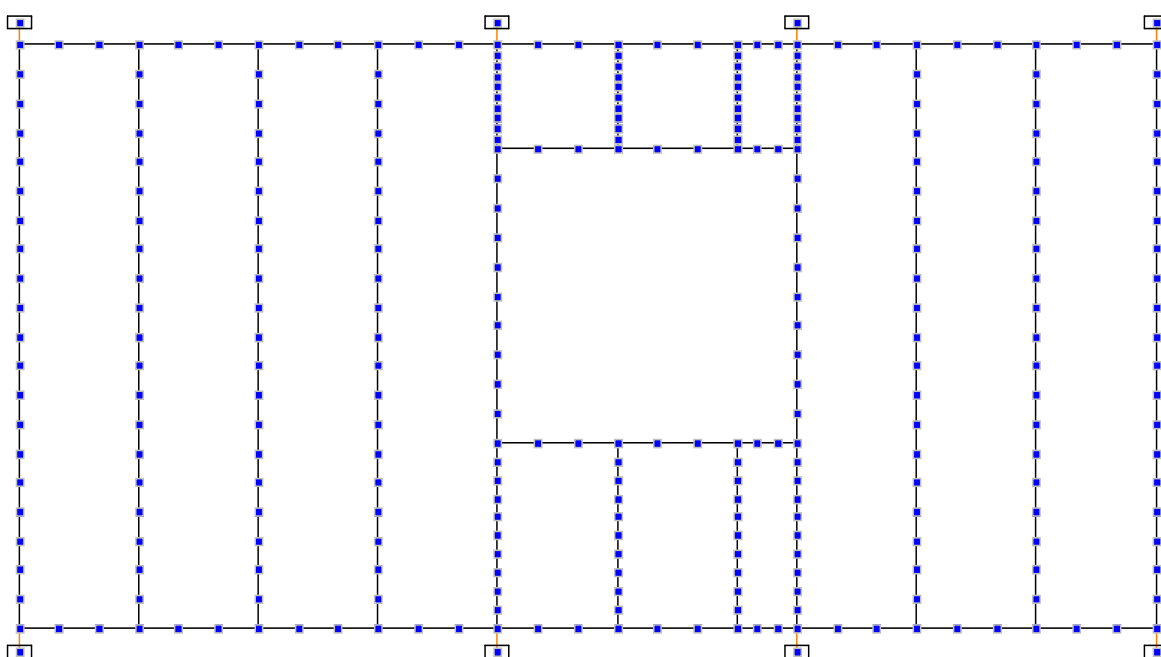
Таким образом погонная нагрузка на профили каркаса составляет 16,2кг/м.

- Динамическая нагрузка.

В качестве динамической нагрузки принимаем некий удар с внутренней стороны ограждающей конструкции. Согласно п.3.17 СНиП II-11-77 «Защитные сооружения гражданской обороны» динамическую нагрузку заменяем эквивалентной статической, равной $F_{\text{стат}} = F_{\text{дин}} \times K_{\text{дин}} = 100 \times 1,2 = 120 \text{ кг}$ и прикладываем ее на расстоянии 1,5 метра от нижнего пояса термопанели в пяти вертикальных профилях.

2.8. Расчетная схема каркаса термопанели №1

Расчетная схема определена как система с признаком 5. Это означает, что рассматривается система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X, Y, Z и поворотами вокруг этих осей.



2.9. Приложение нагрузок на каркас термопанели №1. Формирование комбинаций загрузжений

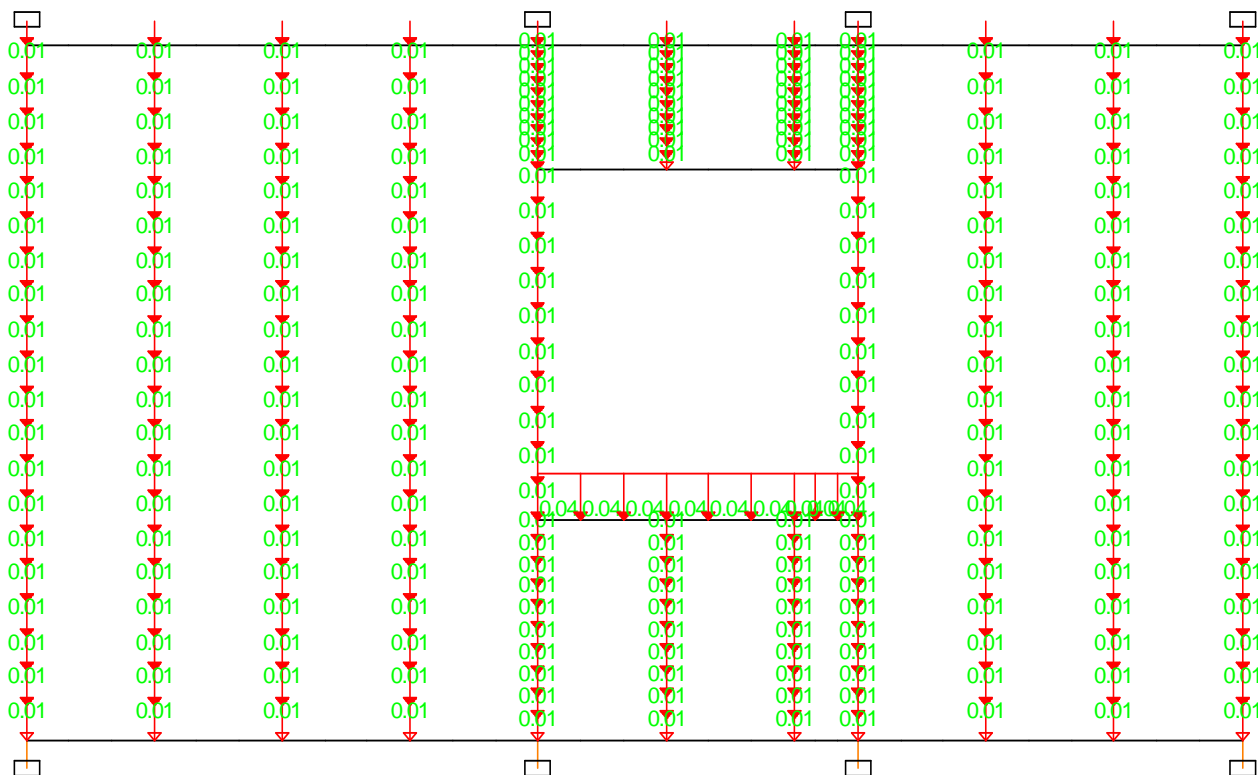


Рис 19. Навесные нагрузки.

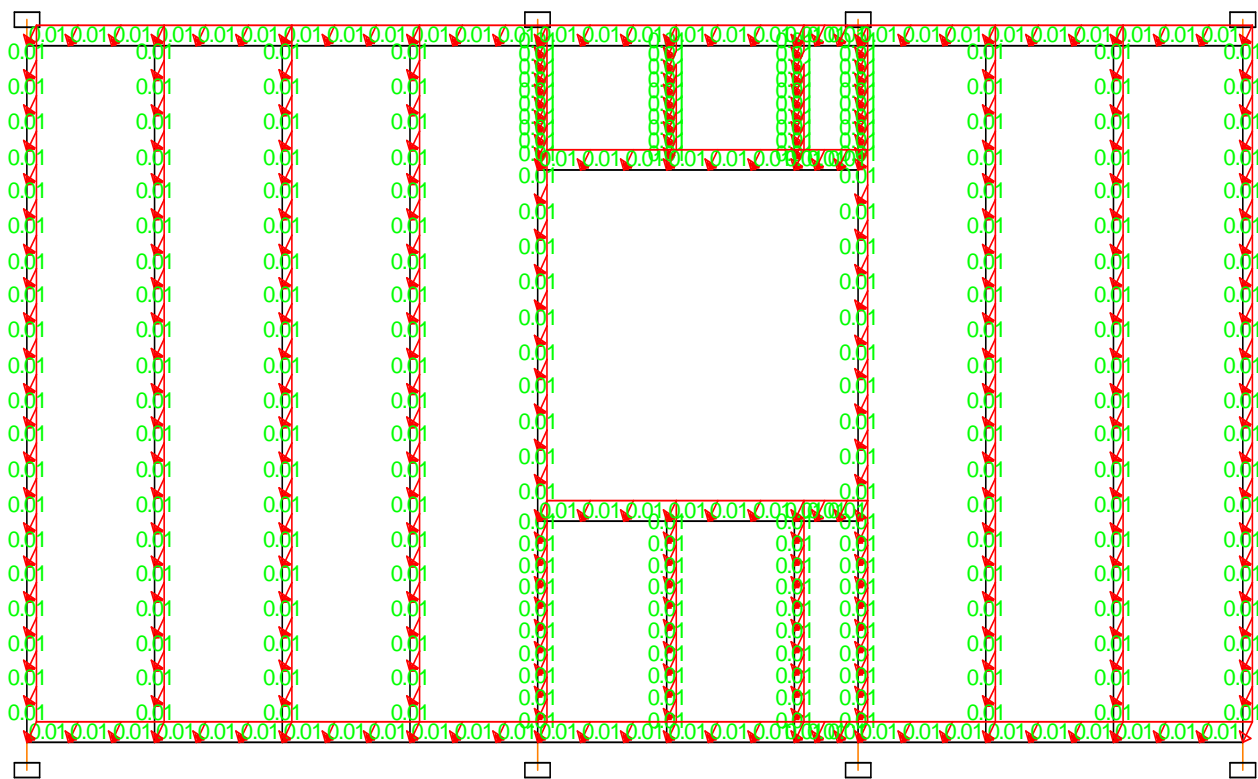


Рис. 20. Ветровые нагрузки.

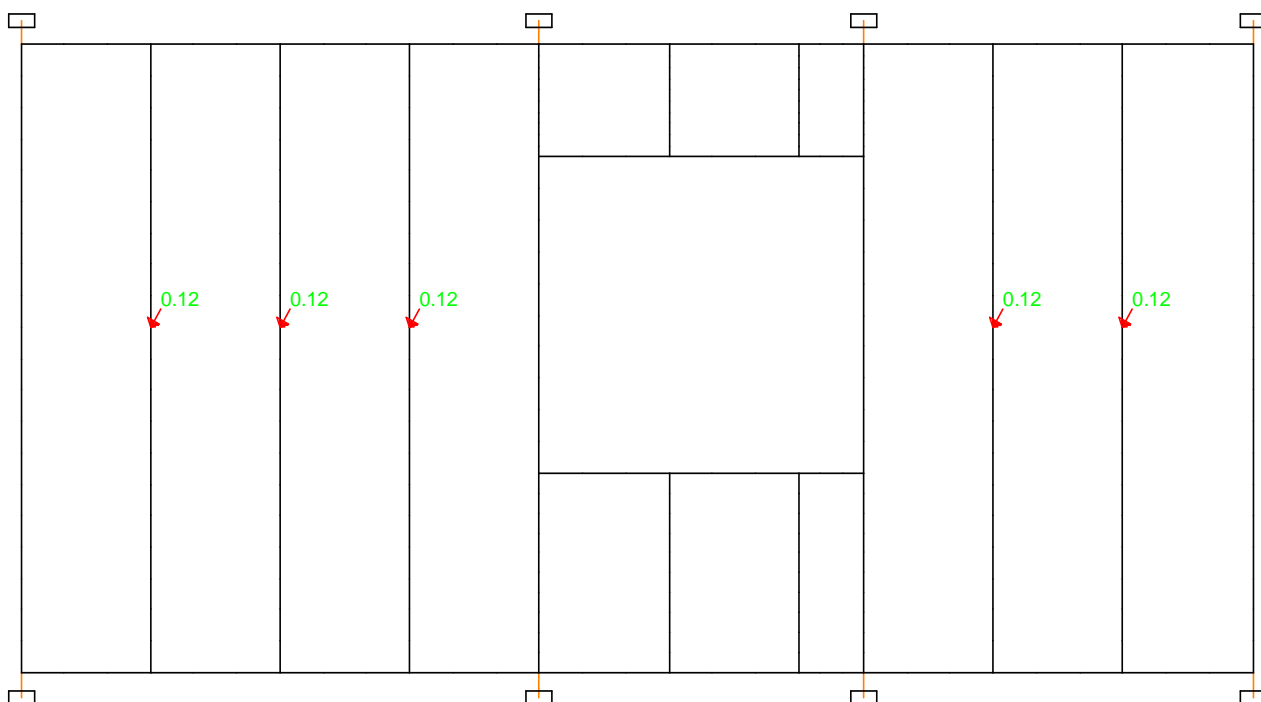


Рис. 21. Динамические нагрузки.

2.10. Расчет конструкции

Расчет типовой конструкции можно проводить по указаниям «Рекомендаций...», а так же в программе SCAD. Подробно моделирование и расчеты конструкций из тонкостенных стержней был рассмотрены д.т.н., проф. В.И. Сливкером [12].

В основу расчета положен метод конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы. В связи с этим идеализация конструкции выполнена в форме, приспособленной к использованию этого метода, а именно: система представлена в виде набора тел стандартного типа (стержней), называемых конечными элементами и присоединенных к узлам.

2.11. Результаты исследования напряженно-деформированного состояния каркаса термопанели №1

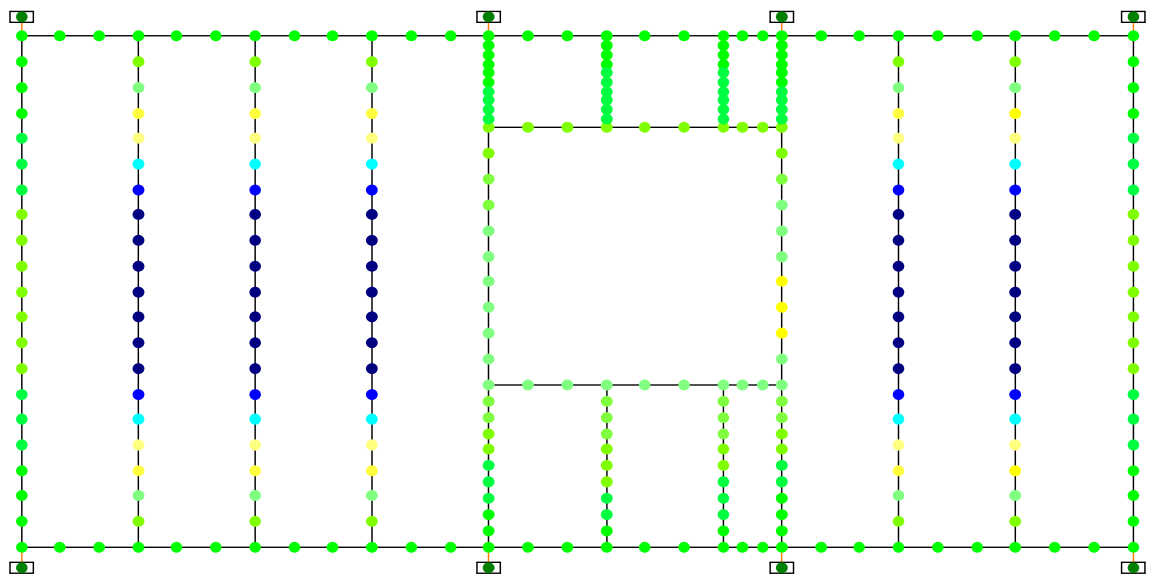
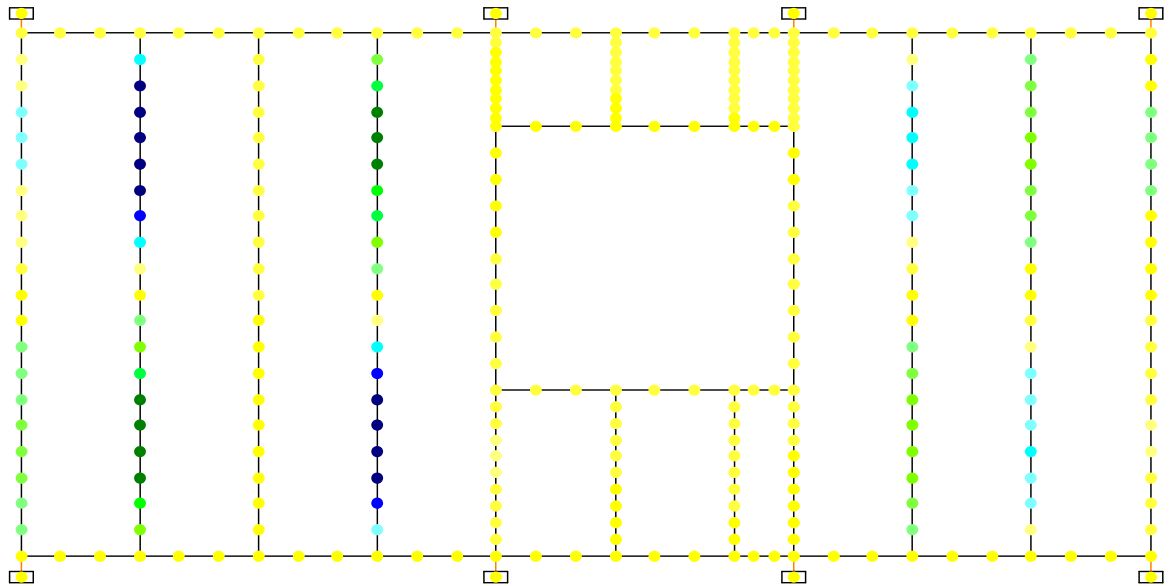


Рис. 22. Перемещения по оси у от ветровой нагрузки.



Перемещения X (мм). Загружение 2

Рис. 23. Перемещения по оси z от навесной нагрузки.

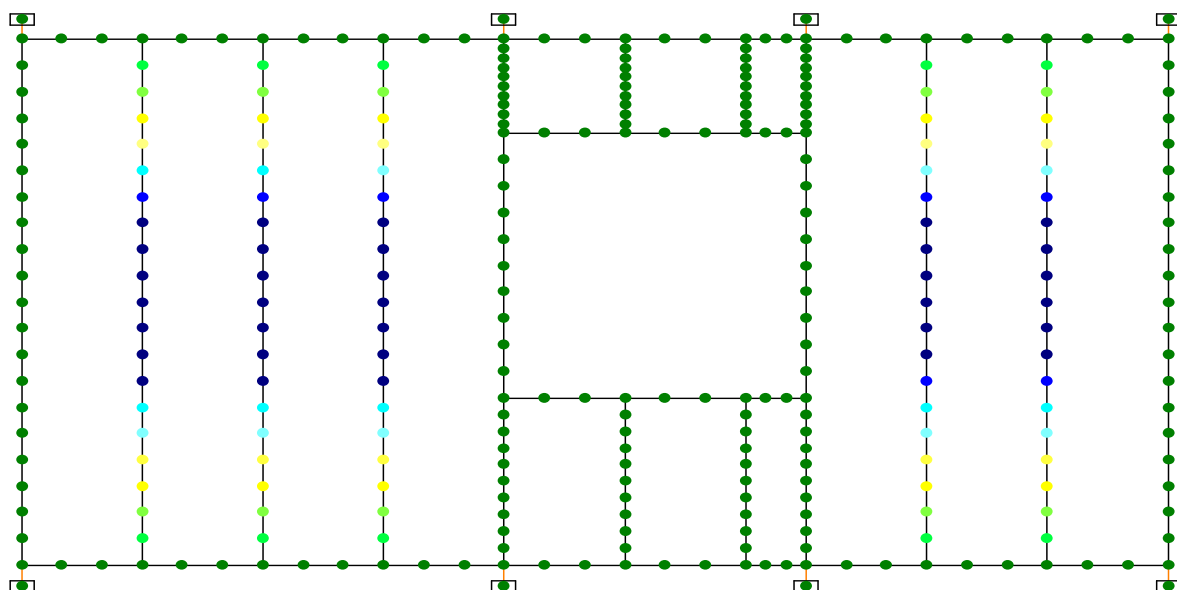


Рис. 24. Перемещения по оси y от динамической нагрузки.

2.12. Расчет профиля на прочность от действия динамической нагрузки

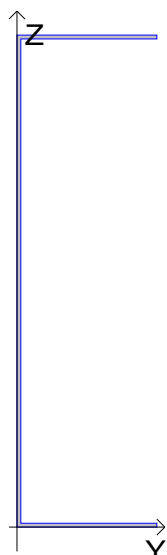
Рассчитаем на прочность наш профиль от действия динамических нагрузок (удара). Для этого воспользуемся программой Кристалл. В качестве исходных данных (сечение, усилия) воспользуемся полученными ранее в SCADe результатами расчетов.

Общие характеристики

Группа конструкции по таблице 50* СНиП: 1
 Расчетное сопротивление стали $R_y = 2.4 \text{ Т/см}^2$
 Коэффициент условий работы 1.1
 Коэффициент надежности по ответственности 1.15

Предельная гибкость для сжатых элементов: 220
 Предельная гибкость для растянутых элементов: 220

Сечение



Геометрические характеристики сечения

Параметр	Значение	
A	Площадь поперечного сечения	3.3 см ²
α	Угол наклона главных осей инерции	-3.16753e-14
I_y	Момент инерции относительно оси Y	144.215 см ⁴
I_z	Момент инерции относительно оси Z	7.049 см ⁴
I_t	Момент инерции при кручении	0.015 см ⁴
i_y	Радиус инерции относительно оси Y	6.611 см
i_z	Радиус инерции относительно оси Z	1.462 см
W_{y+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси Y	16.482 см ³
W_{y-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси Y	16.482 см ³
W_{z+}	Максимальный момент сопротивления относительно оси Z	1.739 см ³
W_{z-}	Минимальный момент сопротивления относительно оси Z	7.441 см ³
$W_{pl,y}$	Пластический момент сопротивления относительно оси Y	17.776 см ³
$W_{pl,z}$	Пластический момент сопротивления относительно оси Z	3.778 см ³
I_u	Максимальный момент инерции	144.215 см ⁴
I_v	Минимальный момент инерции	7.049 см ⁴
i_u	Максимальный радиус инерции	6.611 см
i_v	Минимальный радиус инерции	1.462 см
a_{y+}	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Y(U)	0.527 см
a_{y-}	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Y(U)	2.255 см
a_{z+}	Ядровое расстояние вдоль положительного направления оси Z(V)	4.994 см
a_{z-}	Ядровое расстояние вдоль отрицательного направления оси Z(V)	4.994 см

Длина элемента 2.8 м

Закрепление



Отношение l/L в плоскости XOY 1.0

Отношение l/L в плоскости XOZ 1.0

Результаты расчета по комбинациям загрузений

$N = 0.002 \text{ Т}$

$M_y = -2.10476e-05 \text{ Т*м}$

$V_z = 0.000126811 \text{ Т}$

$M_z = 0.098 \text{ Т*м}$

$V_y = 0.052 \text{ Т}$

Проверено по СНиП	Результаты расчета Фактор	Коэффициент использования
п.5.12	прочность при действии изгибающего момента M_y	$5.56283e-05$
п.5.12	прочность при действии изгибающего момента M_z	2.454
пп.5.12,5.18	прочность при действии поперечной силы V_y	0.012
пп.5.12,5.18	прочность при действии поперечной силы V_z	$2.88608e-05$
пп.5.24,5.25	прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	2.455
пп.6.15,6.16	предельная гибкость в плоскости XoY	0.871
пп.6.15,6.16	предельная гибкость в плоскости XoZ	0.193

Коэффициент использования 2.455 - прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов

$N = 0.001 \text{ Т}$

$M_y = -1.21708e-05 \text{ Т*м}$

$V_z = 0.000126811 \text{ Т}$

$M_z = 0.094 \text{ Т*м}$

$V_y = 0.053 \text{ Т}$

Проверено по СНиП	Результаты расчета Фактор	Коэффициент использования
п.5.12	прочность при действии изгибающего момента M_y	$3.21671e-05$
п.5.12	прочность при действии изгибающего момента M_z	2.354
пп.5.12,5.18	прочность при действии поперечной силы V_y	0.012
пп.5.12,5.18	прочность при действии поперечной силы V_z	$2.88608e-05$
пп.5.24,5.25	прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	2.354
пп.6.15,6.16	предельная гибкость в плоскости XoY	0.871
пп.6.15,6.16	предельная гибкость в плоскости XoZ	0.193

Коэффициент использования 2.354 - прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов

$N = -3.17691e-05 \text{ Т}$

$M_y = -3.29405e-06 \text{ Т*м}$

$V_z = 0.000126811 \text{ Т}$

$M_z = 0.09 \text{ Т*м}$

$V_y = 0.054 \text{ Т}$

Проверено по СНиП	Результаты расчета Фактор	Коэффициент использования
п.5.12	прочность при действии изгибающего момента M_y	$8.70609e-06$

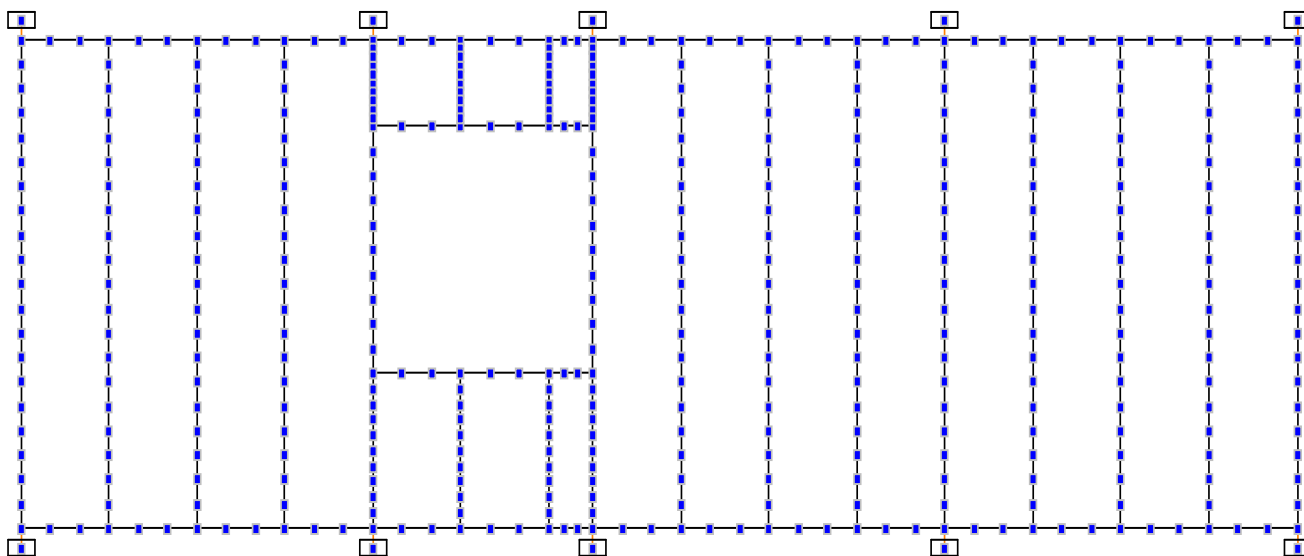
п.5.12	прочность при действии изгибающего момента M_z	2.254
пп.5.12,5.18	прочность при действии поперечной силы V_y	0.012
пп.5.12,5.18	прочность при действии поперечной силы V_z	2.88608e-05
пп.5.24,5.25	прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	2.254
п.5.3	устойчивость при сжатии в плоскости XoY (XoU)	2.35904e-05
п.5.3	устойчивость при сжатии в плоскости XoZ (XoV)	4.73449e-06
пп.6.15,6.16	предельная гибкость в плоскости XoY	0.871
пп.6.15,6.16	предельная гибкость в плоскости XoZ	0.193

Коэффициент использования 2.254 - прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов

Коэффициент использования по всему пакету комбинаций 2.455 - прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов.

2.13. Расчетная схема каркаса термопанели №2

Расчетная схема определена как система с признаком 5. Это означает, что рассматривается система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X, Y, Z и поворотами вокруг этих осей.



2.14. Приложение нагрузок на каркас термопанели №2. Формирование комбинаций загрузений

Производится аналогично термопанели №1.

2.15. Результаты исследования напряженно-деформированного состояния каркаса термопанели №2

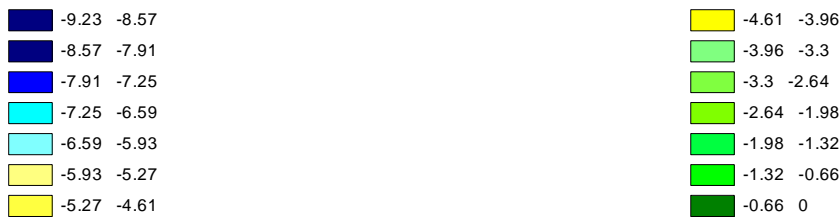
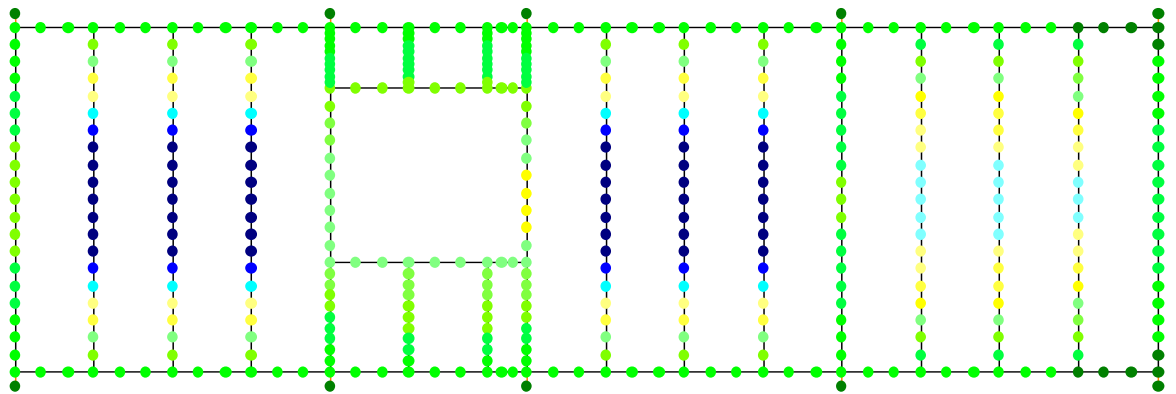


Рис. 25. Перемещения по оси у от ветровой нагрузки.

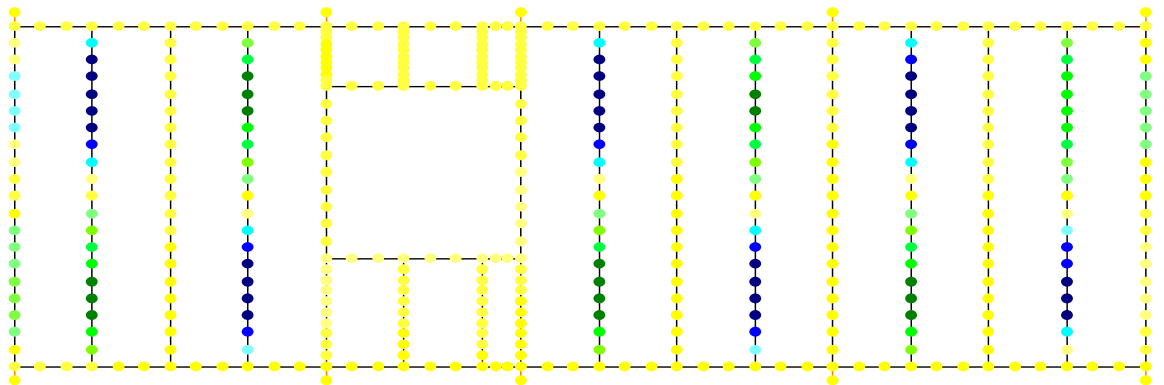


Рис. 26. Перемещения по оси z от навесной нагрузки.

2.16. Сравнение результатов расчета с нормативными

Согласно п.10.16 СНиП «Нагрузки и воздействия» [4] горизонтальные предельные прогибы навесных стеновых панелей от ветровой нагрузки, ограничиваемые исходя из конструктивных требований, следует принимать равными $l/200$, где l - расчетный пролет панелей.

Таким образом, получаем: $f=2800/200=14\text{мм}$ – предельный прогиб от ветровой нагрузки (нормативный).

В результате проделанных расчетов мы получили:

Для термопанели №1 $f=9,12\text{мм}$

Для термопанели №2 $f=9,23\text{мм}$.

Результатом расчета на прочность профиля от действия ударной нагрузки является превышение коэффициента использования в 2 раза. Перемещение в точке приложения сосредоточенной ударной нагрузки составляет 3,8см. Динамическая нагрузка рассматривалась в качестве теоретической и экстремальной ситуации.

2.17. Выводы по главе

При исследовании 2-х типов термопанели, расположенных на 10 этаже 10-тиэтажного здания, на действие ветровой нагрузки, получены прогибы, удовлетворяющие нормативным требованиям.

Получено, что при действии динамической нагрузки (удар) имеет место прогиб в точке приложения нагрузки 3,8см, при этом исследования на такую ненормированную динамическую нагрузку, которая допускается автором, показали, что термопанель не разрушается.

3. Расчет и сравнение нескольких типов термопанели

Рассмотрим несколько термопанелей, каркас которых состоит из термопрофилей:

№ панели	Вертикальные профили	Горизонтальные профили
1	ТС-150-0,8	TU-154-0,8
2	ТС-150-1,0	TU-154-1,0
3	ТС-150-1,2	TU-154-1,2
4	ТС-175-0,8	TU-179-0,8
5	ТС-175-1,0	TU-179-1,0
6	ТС-175-1,2	TU-179-1,2
7	ТС-200-0,8	TU-204-0,8
8	ТС-200-1,0	TU-204-1,0
9	ТС-200-1,2	TU-204-1,2

3.1. Моделирование и расчет термопанелей в SCAD

Расчетная схема определена как система с признаком 5. Это означает, что рассматривается система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X, Y, Z и поворотами вокруг этих осей.

Замоделируем термопанели в SCAD, с различной высотой: $H=2,8\text{м}$, $H=3,0\text{м}$, $H=3,5\text{м}$.

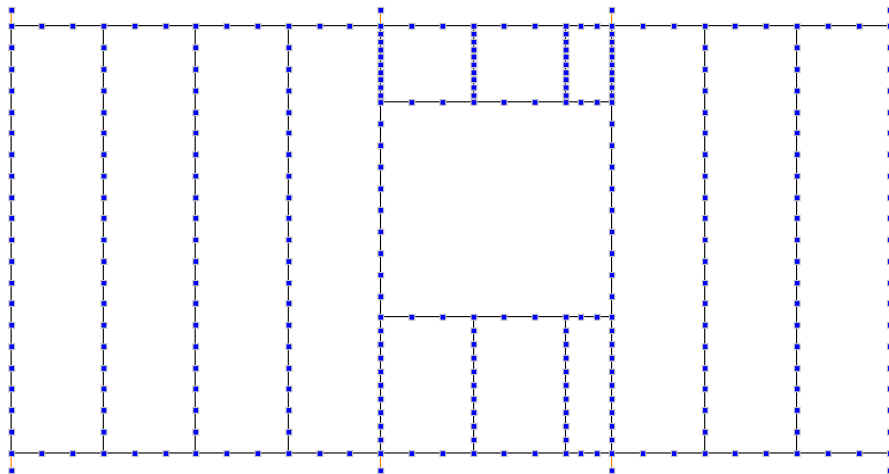


Рис. 27. Расчетная схема термопанели с высотой $H=2,8\text{м}$.

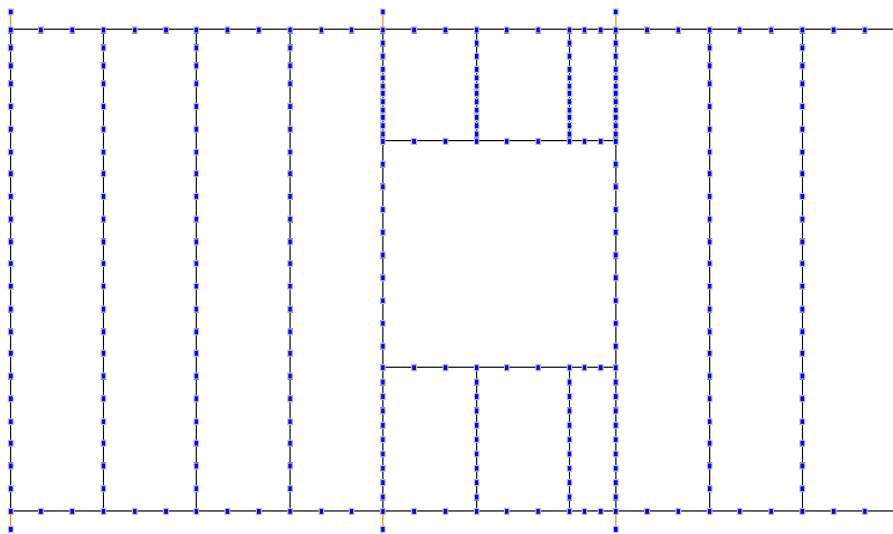


Рис. 28. Расчетная схема термопанели с высотой $H=3,0\text{м}$.

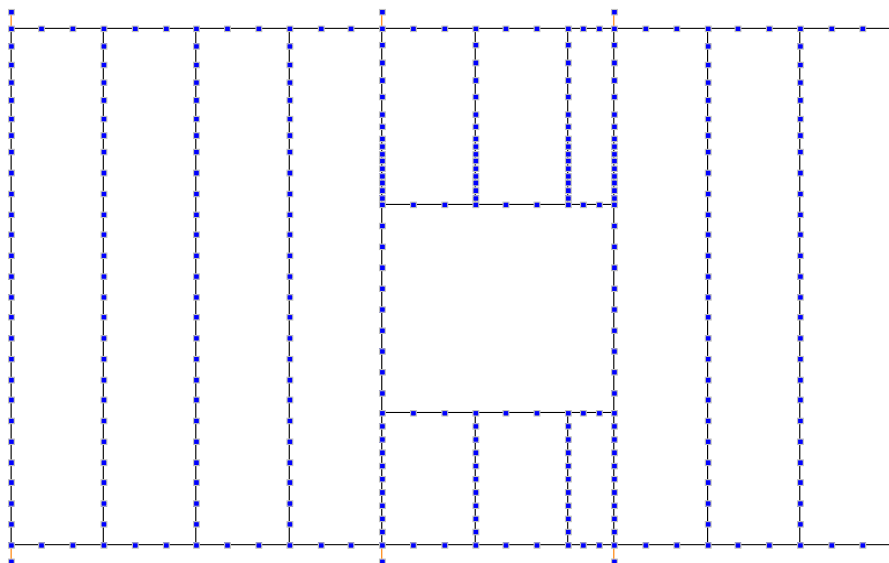


Рис. 30. Расчетная схема термопанели с высотой $H=3,5\text{м}$.

Создание новых сечений, сбор нагрузок и расчет в программе SCAD описан в главе 2. Результаты расчетов по максимальным прогибам от ветровой нагрузки сведем в таблицу:

№ типа панели	Сечение профиля	Толщина профиля	Высота профиля	Прогиб, мм, при высоте панели:		
				2.8	3	3.5
1	150-0.8	0.8	150	13.68	17.71	31.9
4	175-0.8	0.8	175	13.39	17.4	31.54
7	200-0.8	0.8	200	12.69	16.45	29.68
2	150-1.0	1	150	11.17	14.42	25.86
5	175-1.0	1	175	10.72	13.85	24.85
8	200-1.0	1	200	10.38	13.41	24.07
3	150-1.2	1.2	150	9.5	12.23	21.84
6	175-1.2	1.2	175	9.12	11.75	20.98
9	200-1.2	1.2	200	8.83	11.38	20.33

3.2. Построение графиков зависимости

На основании полученных результатов строим графики зависимости максимального прогиба каркаса термопанели от различных характеристик термопрофиля (высота панели H, толщина профиля d, высота стенки профиля l).

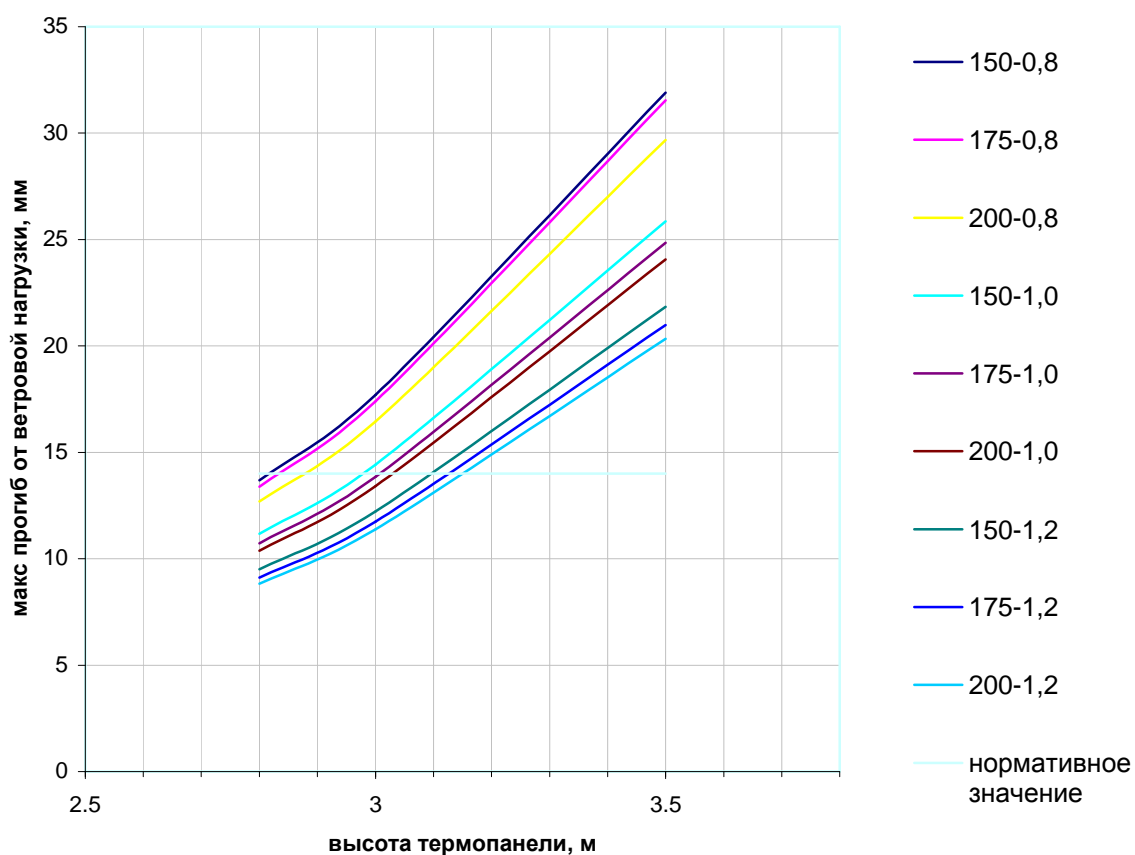


Рис. 31. График зависимости максимального прогиба на действие ветровой нагрузки от высоты термопанели.

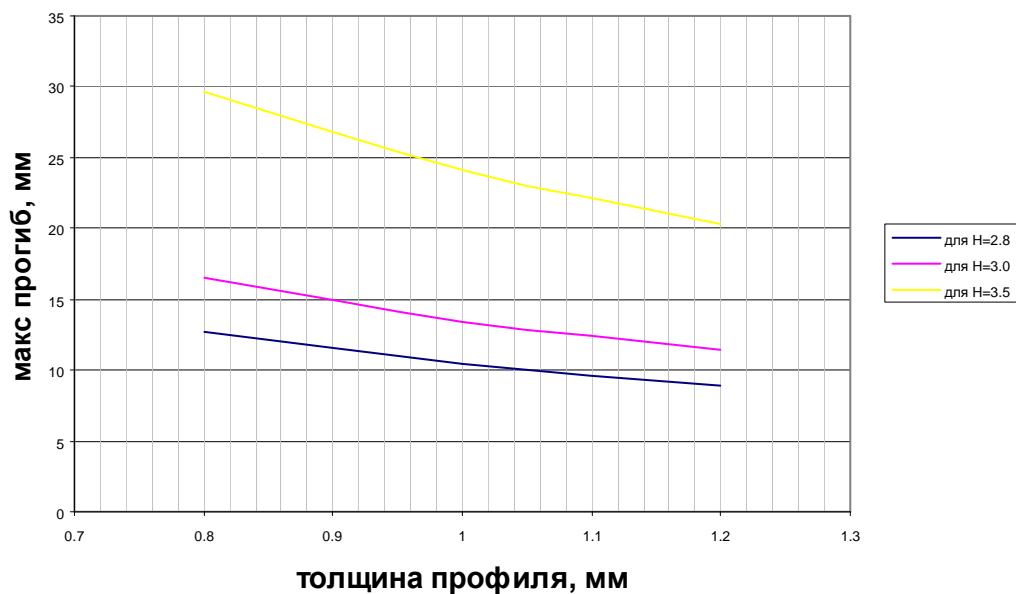


Рис. 32. График зависимости максимального прогиба на действие ветровой нагрузки от толщины термопрофиля с высотой стенки $l=175\text{мм}$.

$f(d)$ для 200 профиля

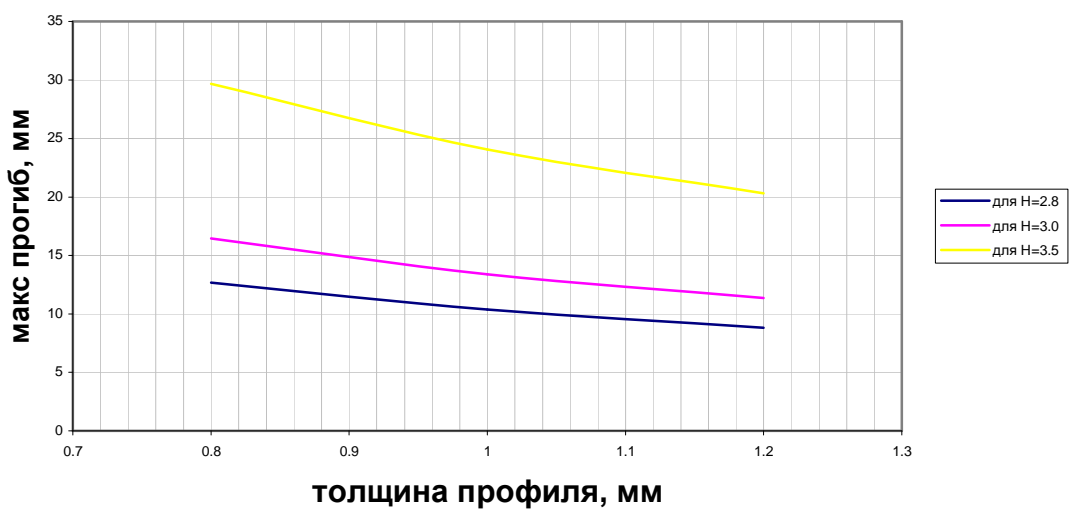


Рис. 33. График зависимости максимального прогиба на действие ветровой нагрузки от толщины термопрофиля с высотой стенки $l=200\text{мм}$.

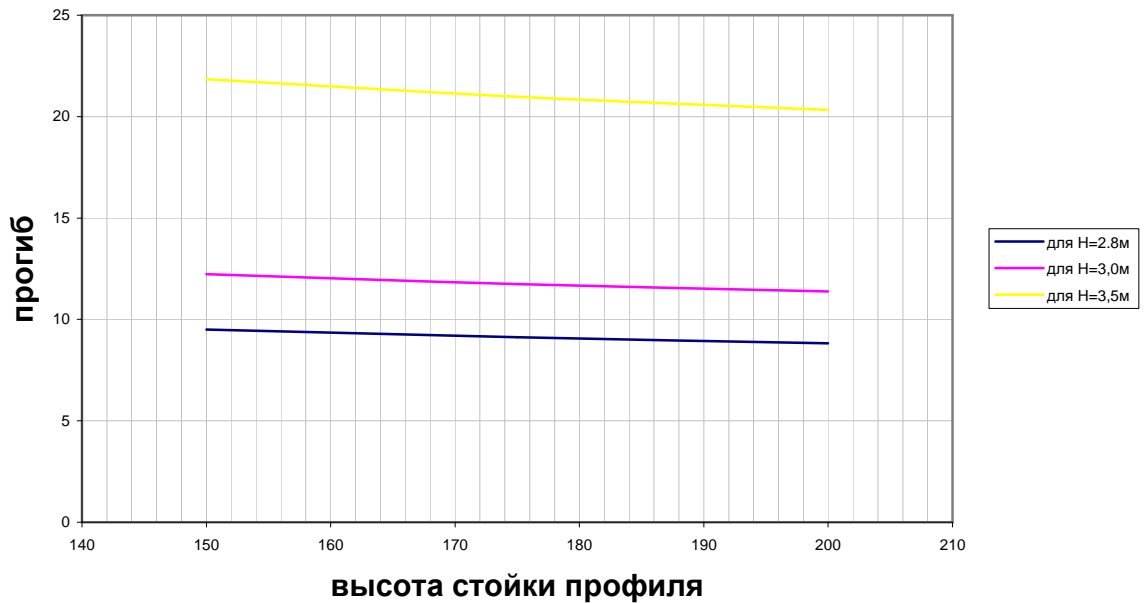


Рис. 34. График зависимости максимального прогиба на действие ветровой нагрузки от высоты стойки профиля.

3.3. Выводы по главе

Из графика №1 (рис. 32) видно, что максимальная высота термопанели, удовлетворяющая нормативным ветровым нагрузкам, составляет 3,15 м. В зависимости от сечения профиля диапазон допустимых параметров термопанели различен: для профилей толщиной 0,8 мм максимальная высота термопанели может меняться в пределах 2,8 – 2,88 м; для профилей толщиной 1,0 мм – 2,95–3,03 м; для профилей толщиной 1,2 мм – 3,1 – 3,15 м.

Из графика №2 (рис. 33) видно, что с увеличением толщины сечения термопрофиля уменьшается прогиб от ветровой нагрузки, соответственно увеличиваются прочностные характеристики каркаса термопанели.

Из графика №3 (рис. 34) видно, что изменение высоты стойки термопрофиля незначительно (в пределах 7%) влияет на прогиб от ветровой нагрузки, а следовательно и на прочностные характеристики каркаса термопанели.

4. Оценка действия ударных воздушных волн на термопанель

4.1. Наземный взрыв

Избыточное давление во фронте ударной волны при взрыве тротилового заряда определяется по формуле академика М.А. Садовского:

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 390 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 1300 \frac{G}{R^3} \quad (6),$$

где ΔP_{ϕ} – избыточное давление, кПа;

G – масса тротилового заряда, кг.;

R – расстояние от центра взрыва, м.

Формула справедлива в широком диапазоне изменения давления ΔP_{ϕ} от нескольких кПа до нескольких тысяч кПа.

Определим давление во фронте воздушной ударной волны при наземном взрыве тротилового заряда массой $G=25$ кг на расстоянии $R=100$ м от центра взрыва.

Величину давления ΔP_{ϕ} вычисляем по формуле (6):

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{\sqrt[3]{25}}{100} + 390 \frac{\sqrt[3]{25^2}}{100^2} + 1300 \frac{25}{100^3} = 3.14 \text{ кПа}$$

4.2. Воздушный взрыв

Избыточное давление во фронте рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_{\phi} = 76 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 246 \frac{\sqrt[3]{G^2}}{R^2} + 650 \frac{G}{R^3} \quad (13)$$

Давление во фронте ударной волны у поверхности земли определяется по формулам:

- в области регулярного отражения ($R_3 \leq H$)

$$\Delta P_{\text{отр}} = 2\Delta P_{\phi} + \frac{\frac{\kappa+1}{\kappa-1} \cdot \Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + \frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot P_0} = 2\Delta P_{\phi} + \frac{6\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 7P_0} \quad (15)$$

- в области нерегулярного отражения ($H < R_3 < 8H$)

$$\Delta P_{\text{г.в.}} = \Delta P \left[1 + 7 \frac{(\Delta P_{\phi} + P_0)(R + H)}{(\Delta P_{\phi} + 7P_0) \cdot 2R} \right] \quad (16),$$

где $\Delta P_{\text{отр}}$ – давление отражения;

$\Delta P_{\text{г.в.}}$ – давление во фронте головной волны;

ΔP_{ϕ} – давление во фронте падающей волны, рассчитываемое по формуле (13);

P_0 – атмосферное давление;

$R = \sqrt{R_3^2 + H^2}$ – расстояние от центра взрыва до точки наблюдения на поверхности земли;

$\kappa=1,4$ – показатель адиабаты воздуха.

При $R_3 > 8H$ давление во фронте головной волны определяется по формуле (7), как при наземном взрыве.

Определим давление на поверхности земли в точке $R_3=0$ при воздушном взрыве тротилового заряда массой $G=25$ кг на высоте $H=100$ м.

По формуле (13) определяем давление во фронте падающей волны:

$$\Delta P_{\phi} = 76 \frac{\sqrt[3]{25}}{100} + 246 \frac{\sqrt[3]{25^2}}{100^2} + 650 \frac{25}{100^3} = 2,45 \text{ кПа}$$

По формуле (15) находим искомое давление отражения:

$$\Delta P_{\text{отр}} = 2 \cdot 2,45 + \frac{6 \cdot 2,45^2}{2,45 + 7 \cdot 101} = 4,95 \text{ кПа}$$

Определим давление на поверхности земли в точке $R_3=100$ м при взрыве тротилового заряда массой $G=25$ кг на высоте $H=75$ м.

Определяем расстояние от центра взрыва до точки наблюдения:

$$R = \sqrt{25^2 + 75^2} = 79 \text{ м}$$

По формуле (13) вычисляем давление во фронте падающей волны:

$$\Delta P_{\phi} = 76 \frac{\sqrt[3]{25}}{79} + 246 \frac{\sqrt[3]{25^2}}{79^2} + 650 \frac{25}{79^3} = 3,18 \text{ кПа}$$

По формуле (16) находим искомое давление во фронте головной волны:

$$\Delta P_{\text{г.в.}} = 3,18 \left[1 + 7 \frac{(3,18 + 101)(79 + 75)}{(3,18 + 7 \cdot 101) \cdot 2 \cdot 79} \right] = 6,36 \text{ кПа}$$

4.3. Выводы по главе

Принятая в расчетах масса (25 кг) заряда базируется на вероятном использовании ее в террористических актах, в то время как могут иметь место взрывы с существенно большей массой заряда. Полученные значения давления во фронте ударной волны, согласно табл. 3, соответствуют незначительным разрушениям, таким как остекление. Ограждающая конструкция в виде термопанели существенно снижает вредные действия ударной воздушной волны на несущие конструкции здания, поражающее действие осколков и предотвращает образование тяжело разбираемых завалов.

5. Научно обоснованные технические, экономические или технологические разработки

5.1. Сравнительный анализ термопанелей с другими ограждающими конструкциями

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

теплотехнические показатели различных ограждающих конструкций

(рассматривалась панель 3*6 метров)

№	Состав ограждающей конструкции	Общая Толщина стен, мм	m R o для жилья	m R o для адм. зданий	R o сопротивление теплопроводности	Объем материала на 1 м.кв. стены	Общий вес 1 м.кв. стены	На 1 м.кв. стены	
								Трудозатраты, Чел/час	стоимость без НДС, руб.
1	кирпич лицевой, 120мм утеплитель, 160мм кирпич, 250мм штукатурка, 10мм	540	3.79	3.05	4,85	0.12 0.16 0.25 0.01	700	6	1882
2	плитка облицовочная утеплитель 90мм СИБИТ 300мм	400			4.75	0.008 0.09 0.3	202.0	7	2023
3	ограждающая конструкция ЛСТК ЦСП 10мм утеплитель 150мм стальной термопрофиль ГКЛ 2 слоя 25мм	185			4.01	0.01 0.15 5.11кг 0.025	65.6	3	1842

1. В качестве утеплителя приняты полужесткие плиты ROCKWOOL с объемным весом 100 кг/м. куб. и коэффициентом теплопроводности = 0.04 Вт / МхС.
2. Варианты 1 и 2 предусматривают использование:
 - кранового оборудования
 - выполнения работ при положительных температурах
3. Вариант 3 предполагает возведение ограждающих конструкций при положительных и отрицательных температурах, не требуется кранового оборудования.

5.2. Сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов

Результаты работы использования в ООО «Балтпрофиль» и ПНИПКУ «Венчур» при проектировании строительных конструкций и жилых многоквартирных зданий.

Заключение

Выполненная работа посвящена актуальной задаче исследования по использованию термопанели в качестве ограждающей конструкции при многоэтажном каркасно-монолитном домостроении.

Показано, что использование в качестве ограждающих конструкций термопанелей значительно уменьшает время строительства, трудозатраты и стоимость. Минимизируя толщину ограждающей стены, тем самым увеличиваем внутреннюю жилую площадь, следовательно обеспечиваем ресурсосбережение строительных материалов. Кроме того, термопанели являются энергосберегающим ресурсом в строительстве.

При этом в ранее опубликованных работах не учитывалось влияние параметров термопрофилей, составляющих каркас термопанели, на прогиб от действия ветровой нагрузки. Именно решению этой научной задачи по выявлению зависимости посвящена данная работа. Кроме того, в известных решениях отсутствовала оценка воздействия воздушной ударной волны на ограждающую конструкцию в виде термопанели. В связи с этим в работе сделан также акцент на защитную функцию термопанели. В имеющихся публикациях по термопанелям использовался упрощенный подход к их применению, в связи с их применением при строительстве малоэтажных зданий и коттеджей. Вместе с тем имели место расчеты отдельных элементов термопанели (термопрофилей), но отсутствовали расчеты каркаса термопанели как единого целого.

В связи с этим была поставлена задача разработать модель напряженно-деформированного состояния термопанели, исследовать ее поведение на действие постоянных и временных нагрузок. Вместе с тем, впервые была поставлена задача произвести оценку действия ударной воздушной волны на термопанель.

На базе рассмотренной модели – термопанели в виде каркаса из термопрофилей, произведена теоретическая оценка их прочностных характеристик на воздействие ветровых, навесных и ударно-волновых нагрузок. При построении модели не учитывалось заполнение термопанели и обшивка листами ГВЛ. Крепление к перекрытиям предусматривалось анкерными болтами в 4-х местах по верхнему и нижнему поясам. Исследование вопросов по этой тематике и накопление фактического материала обеспечило более качественный и быстрый темп проектирования. Это позволило обеспечить сокращение сроков строительства жилых многоэтажных каркасно-монолитных зданий и имеет большое значение для экономики страны. Выполнены расчеты в программе SCAD нескольких типов термопанели, с различной высотой и сечениями термопрофилей. В качестве исходных данных рассмотрено расположение термопанели на 10 этаже 10-тиэтажного здания. Произведен анализ полученных прогибов от ветровой нагрузки и осуществлено их сравнение с нормативными значениями. В результате установлено, что по величине прогибов проходит типовая термопанель (см. глава 2), однако при вариации параметров термопанели определяющими факторами являются ее высота и толщина термопрофиля. Таким образом, доказана перспективность и эффективность применения термопанелей в гражданском строительстве. В качестве экстремальной ситуации рассмотрен случай приложения динамической нагрузки (удар). А также проведена оценка влияния ударной воздушной волны на термопанель.

В результате можно сформулировать основные научные и практические результаты, полученные в работе:

1. Обоснована эффективность применения термопанели в многоэтажном каркасном домостроении в зависимости от ее параметров, а именно ее высоты и толщины термопрофилей.
2. Разработана модель напряженно-деформированного состояния термопанели, позволяющая оценить воздействие ветровой, навесной и ударной нагрузки на деформацию каркаса в целом.
3. Установлена квазилинейная зависимость максимального прогиба от высоты термопанели при ветровой нагрузке.
4. Показано, что при несанкционированных взрывах ограждающая конструкция в виде термопанели существенно снижает вредные действия ударной воздушной волны на несущие конструкции здания, поражающее действие осколков и предотвращает образование тяжело разбираемых завалов.

Задачами дальнейших исследований являются лабораторные испытания типовой термопанели на действие различных нагрузок и сравнение результатов с полученными теоретическими, а также распространение полученных результатов на строительство многоэтажных домов в Санкт-Петербурге.

Список использованных источников

1. *Ватин Н.И., Самопляс Т.В.* Системы вентиляции жилых помещений многоквартирных домов.— СПб.: СПбГПУ. - 2005.
2. Строительная компания ООО «Балтпрофиль». Режим доступа: [<http://www.baltprofile.ru>].
3. Группа SCAD Soft. Режим доступа: [<http://www.scadgroup.com/>].
4. СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».- Москва: ГУП ЦПП. – 2003.
5. *Полова Е.Н.* Термопрофиль в легких стальных строительных конструкциях. – СПб: СПбГПУ, 2006.
6. СНиП II-11-77 «Защитные сооружения гражданской обороны». – Москва: ЦИТП Госстроя СССР. – 1987.
7. *Г.Н. Храмов.* Техногенные взрывы: учебное пособие.- СПб.: СПбГПУ, 2002.- 60с.
8. *Жмарин Е.Н.* Технология будущего - строительство облегченных зданий и сооружений с применением термопрофилей и лёгких балок // Стройпрофиль.-2004.- №5(35).-С.83.