



**ТЕХНОЛОГИИ СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ**

**СЭНДВИЧ-ПАНЕЛИ  
С PIR PREMIER  
И PUR CLASSIC**

**ТЕХНИЧЕСКИЙ КАТАЛОГ**

## Содержание

ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЯХ	
§1.1 История .....	3
§1.2 Конструкция сэндвич-панелей .....	3
§1.3 Наполнитель: пенополиуретан .....	4
§1.4 Чем PUR отличается от PIR .....	5
§1.5 Чем система PIR Premier отличается от других PIR систем .....	8
§1.6 Металлические листы для сэндвич-панелей .....	9
§1.7 Линии для производства сэндвич-панелей .....	10
Глава 2. ПАРАМЕТРЫ И СВОЙСТВА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ ИЗ ППУ	
§2.1 Предельные отклонения геометрических параметров сэндвич-панелей .....	12
§2.2 Теплофизические свойства сэндвич-панелей из ППУ: Теплопроводность, теплопередача и тепловое сопротивление .....	14
§2.3 Расчет коэффициента теплопередачи панели U и термического сопротивления R .....	16
§2.4 Сравнение теплоизоляционных свойств строительных материалов .....	18
§2.5 Теплоемкость трехслойных панелей .....	19
§2.6 Мосты холода и минимизация и тепловых потерь .....	20
§2.7 Цвет сэндвич-панелей .....	22
ГЛАВА 3. ВНЕШНИЕ НАГРУЗКИ НА ПАНЕЛИ	
§3.1 Причины деформации панелей из-за разности температур на их поверхностях .....	23
§3.2 Несущая способность стеновых панелей .....	23
§3.3 Несущая способность кровельных панелей .....	30
§3.4 Разрушающее напряжение при поперечном изгибе .....	32
§3.5 Равномерно распределенная фронтальная нагрузка на вертикально закрепленную панель. Ветровые нагрузки на ограждения из сэндвич-панелей .....	33
§3.6 Вертикальная нагрузка на стеновые панели .....	35
ГЛАВА 4. СТЕНОВЫЕ И КРОВЕЛЬНЫЕ ПАНЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА «ПРОФХОЛОД»	
§4.1 Условные обозначения .....	37
§4.2 Геометрические характеристики .....	38
ГЛАВА 5. ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ С ПАНЕЛЯМИ. РЕЗКА ПАНЕЛЕЙ. ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ	
§5.1 Резка панелей .....	47
§5.2 Упаковка, транспортировка и хранение сэндвич-панелей .....	47
ГЛАВА 6. БЕСКАРКАСНЫЕ КАМЕРЫ ИЗ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ	
§6.1 Общая информация .....	54
§6.2 Особенности конструкции и порядок сборки .....	54
§6.3 Фасонные элементы для сборки холодильных камер .....	60
§6.4 Утепление стен помещения сэндвич-панелями .....	64
§6.5 Выбор толщины панелей для холодильной камеры .....	64
§6.6 Клапаны выравнивания давления .....	66

# ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЯХ

## §1.1 ИСТОРИЯ

Сэндвич-панели пользуются популярностью в качестве строительного материала для ограждающих конструкций, который применяется для строительства быстровозводимых зданий, холодильных и морозильных камер, производственных, складских, офисных и административных и других помещений. Во время пандемии коронавируса из сэндвич-панелей строились больницы, госпитали, инфекционные блоки.

Важным фактором роста использования сэндвич-панелей, которые обладают высокими теплоизоляционными свойствами, стало удорожание энергоносителей. Наряду со скоростью строительства сэндвич-панели сокращают эксплуатационные расходы на отопление или кондиционирование помещений. Коэффициент теплопроводности с пенополиуретаном — всего 0,022 Вт/м\*К.

В СССР панели первоначально использовались преимущественно в промышленном строительстве. В 1979 году вышла книга А.Ш. Дехтяра «Облегченные конструкции металлических стен промышленных зданий», в которой подробно рассматриваются сэндвич-панели со средним слоем из пенополиуретана (ППУ или PU). К тому времени изобретенный в 1937 году в Германии пенополиуретан получил распространение и в западных странах, и в СССР.

В том же 1979 году в СССР был утвержден государственный стандарт ГОСТ 23486-79 «Панели металлические трехслойные стеновые с утеплителем из пенополиуретана», регламентирующий производство и применение ППУ-сэндвич-панелей на территории СССР. Положения ГОСТа разрабатывались для пенополиуретана, который только начинал появляться в советской строительной отрасли. На момент создания ГОСТа в СССР не имелось технической базы для разработки и улучшений качества ППУ-систем. В результате указанные в ГОСТе значения не соответствуют техническим характеристикам современных сэндвич-панелей с ППУ, которые выпускают ведущие российские и международные производители. В частности,

- теплопроводность ППУ улучшена с 0,028 Вт/м\*К до 0,022 Вт/м\*К. Это основное преимущество пенополиуретана перед другими утеплителями
- создан и используется модифицированный полиизоциануратом пенополиуретан
- пенополиизоцианурат, ПИР, который обладает улучшенными огнестойкими свойствами.

В настоящее время разрабатывается новая редакция ГОСТа, которая призвана актуализировать и обновить требования к сэндвич-панелям, вооружить потребителей на строительном и холодильном рынке понятными ориентирами качества продукции.

В 2005 году Европейский комитет по стандартизации (European Committee for Standardization) выпустил единый стандарт EN 14509-2005, регламентирующий производство и применение сэндвич-панелей в странах ЕС.

## §1.2 КОНСТРУКЦИЯ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

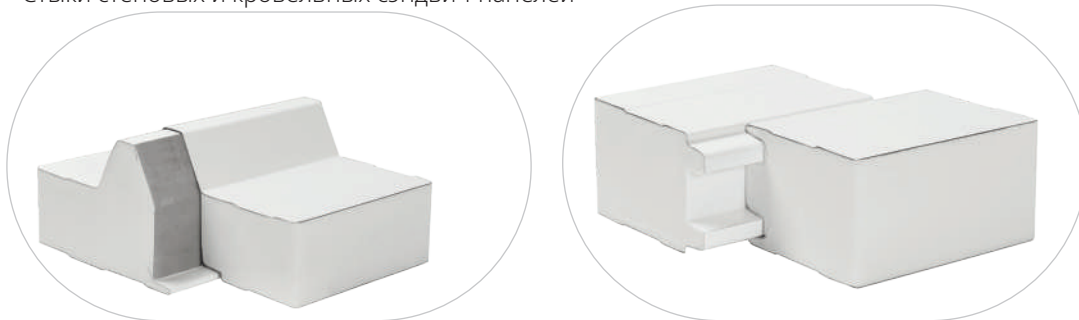
Сэндвич-панель представляет собой конструкцию из двух слоев, как правило металлических, между которыми находится слой теплоизолирующего материала. Конструкция обладает жесткостью и высокими теплоизолирующими свойствами: теплопроводность сэндвич-панелей с PIR находится на уровне 0,022 Вт/м\*К. В марте 2020 года теплопроводность образцов сэндвич-панелей с системой PIR Premier «ПрофХолод» зафиксирована на уровне 0,0194 Вт/м\*К в лаборатории «Эластокам»/BASF.

В качестве теплоизолирующего материала в сэндвич-панелях используются также минеральная вата, пенополистирол, стекловолокно и т. д.

Успех производства сэндвич-панелей складывается из трех основных компонентов:

1. Системы пенополиуретана или пенополиизоцианурата — 40%
2. Производственной линии — 40%
3. Людей: профессионалов, которые вооружены необходимыми знаниями — 20%

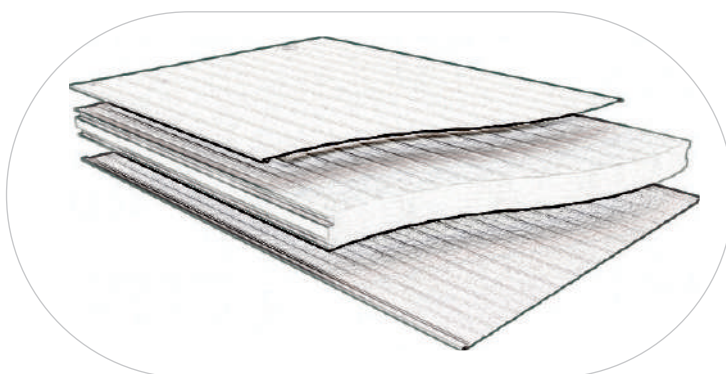
Рисунок 1.  
Стыки стеновых и кровельных сэндвич-панелей



### §1.3 НАПОЛНИТЕЛЬ: ПЕНОПОЛИУРЕТАН

С начала 20 века в России наибольшую популярность приобрел пенополиуретан, который представляет собой разновидность твердой пены. Пенополиуретан получают путем полимеризации и вспенивания при смешивании двух жидких компонентов с вспенивающим реагентом и определенными катализаторами, ускоряющими процесс затвердевания вспененной смеси. Плотность, жесткость и другие механические параметры пены, а также длительность полимеризации определяются пропорциями ингредиентов смеси.

Рисунок 2.  
Конструкция сэндвич-панели.  
Теплоизолирующий слой находится между двумя тонкими металлическими листами



Пенополиуретан состоит из мелких закрытых ячеек. 3% в его объеме занимает твердый материал, 97% — поры, заполненные газом, а их плотность обычно варьируется в пределах 24—96 кг/м<sup>3</sup>.

В результате пенополиуретан отлично держит температуру, ведь теплопроводность газов по сравнению с твердыми материалами ниже в десятки и сотни раз.

Пенополиуретан:

- Обладает теплопроводностью до 0,020 Вт/(м\*К), а при использовании перспективных вспенивателей — до 0,018 Вт/(м\*К)
- Экологичен: используется повсеместно, от подошвы ваших ботинок и руля в автомобиле до утепления топливных баков космических кораблей. Его применение в жилых зданиях разрешено Минздравом РСФСР №07/6 561 от 26.12.1986
- Гигиеничен: применяется в холодильных камерах для хранения продовольствия
- Пароводонепроницаем
- Устойчив к воздействию грибка, плесени. И грызунов или насекомых: они его просто не едят
- Сохраняет свойства с течением времени, до 50 лет.

Пенополиуретаны изготавливают на основе полиуретанов, полимерных соединений, которые образуются в результате химического взаимодействия жидких изоцианатов с жидкими полиолами.

В зависимости от соотношения этих компонентов получают мягкие и эластичные пены или жесткие пенополиуретаны с высокими теплоизолирующими свойствами

Рисунок 2.  
Ячеистая структура ППУ  
с 20-кратным увеличением.  
Шкала деления 0,5 мм

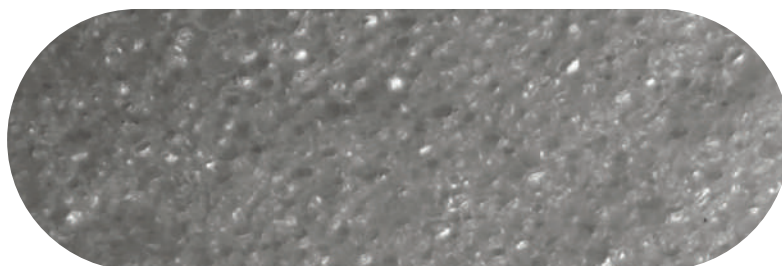
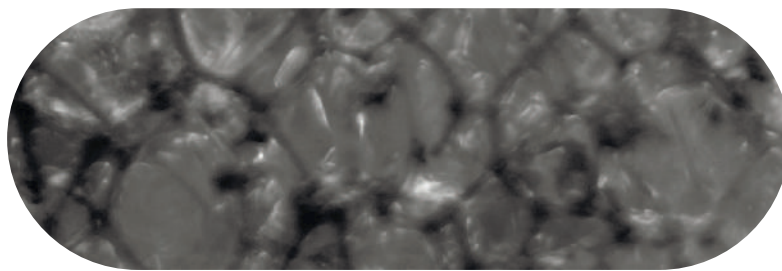


Рисунок 3.  
Ячеистая структура ППУ  
с 300-кратным увеличением.  
Шкала деления 0,5 мм



Помимо того, что жесткие ППУ обеспечивают прекрасную теплоизоляцию, они достаточно твердые и выдерживают значительные механические нагрузки, поэтому ППУ активно применяются для в качестве среднего слоя в сэндвич-панелях.

Теплопотери в жестком ППУ зависят от теплопроводности вспенивающего газа, которым наполнены ячейки, твердой фракции и от теплопереноса за счет конвекции. При относительно небольших размерах ячеек конвективный перенос тепла пренебрежимо мал, тогда как вклад твердой фракции в теплопотери достигает примерно 20%. Газовая фракция — причина потери тепла в пенополиуретане. По этой причине важную роль играет природа вспенивающего агента, который используется при производстве жестких ППУ.

В процессе вспенивания в ячейки помимо пенообразователя попадает и некоторое количество углекислого газа (CO<sub>2</sub>), однако по сравнению с другими газами он довольно быстро покидает их сквозь стенки. Спустя некоторое время в ячейках остается, главным образом, вспенивающий агент с очень низкой теплопроводностью. В ходе дальнейшей эксплуатации в пену может проникнуть немного воздуха, но это практически не влияет на ее изоляционные свойства.

В сэндвич-панелях с металлической облицовкой металл предохраняет средний слой от проникновения газов, благодаря чему его газообмен с внешней средой происходит только через торцы панели.

Если ранее в качестве вспенивателя преимущественно использовался трихлорфторметан, или CFC-11 или R11, более известный под своим торговым названием — фреон-11 или хладон-11. Но, поскольку CFC-газы (хлорфторуглероды), как было установлено, в немалой степени способствуют истощению озонового слоя стратосферы, их применение запрещено Монреальским протоколом.

Разработан целый ряд пенообразователей для использования в производстве сэндвич-панелей, в том числе гидрохлорфторуглероды (HCFC22, или R22, HCFC142b, или R142b, HCFC141b, или R141b), гидрофторуглероды (HFC, такие как R134a) и различные соединения воды и пентана, при взаимодействии которых с изоцианатом выделяется углекислый газ.

После смешивания ингредиентов жидкая пена начинает быстро расширяться. С начала приготовления смеси компонентов до затвердевания панели проходит от трех до шести минут в зависимости от ее толщины. Поскольку при этом протекает экзотермическая реакция, панели толщиной более 100 мм могут нагреваться до температуры свыше 150 °C. В связи с этим перед отправкой потребителю панели необходимо выдерживать на складах не менее 24 часов для полного затвердевания и охлаждения.

#### §1.4 ЧЕМ PUR ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ PIR

Пенополиуретан (PUR) и пенополиизоцианурат (PIR) — родственные полимеры жестких пенополиуретанов, которые создаются в результате реакции нескольких компонентов.

К пенополиуретанам с улучшенными противопожарными характеристиками относится также и полиизоцианурат (polyisocyanurate, PIR, или ПИР), который отличается от простого пенополиуретана соотношением основных компонентов смеси, полиола и изоцианата. У ПИР оно составляет примерно 1:1,5, тогда как у простого полиуретана 1:1,1. Следовательно, в PIR-панелях содержится больше изоцианата, чем в PUR-панелях. На механические свойства пены также влияет катализатор.

Сэндвич-панели с утеплителем PUR Classic используются в основном для строительства холодильных и морозильных камер. Иногда из сэндвич-панелей с PUR строят склады в сейсмоопасных зонах, где часто происходят землетрясения: для дополнительной прочности эти панели можно скреплять эксцентриковыми замками.

PIR используется гораздо шире. Из сэндвич-панелей с PIR Premier вы постройте:

- Холодильные и морозильные камеры
- Овоще- и фруктохранилища
- Любые объекты агропромышленного комплекса: коровники, свинофермы, птичники и так далее
- Логистические комплексы, холодильные склады
- Производственные и административные здания, цеха
- Станции технического обслуживания, ангары

Сэндвич-панели с PIR Premier также используют для модернизации и повышения энергоэффективности зданий, построенных из других материалов.

По сравнению с PUR-системами PIR-наполнитель обладает пониженной горючестью. Под воздействием пламени наружный слой PIR обугливается с образованием пористой углеродной матрицы, которая защищает внутренние слои и препятствует их горению. Согласно Федеральному закону Российской Федерации ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», сэндвич-панели с классом огнестойкости EI 30 и классом горючести Г1 могут применяться в РФ при строительстве и утеплении промышленных и жилых зданий.

Согласно ТУ 5284-006-77983254 и ТУ 5284-003-77983254, сэндвич-панели с PIR и PUR можно использовать при наружной температуре до +80 °С. И те, и другие панели устойчивы к влаге и паронепроницаемы.

В настоящее время ПИР-модифицированные полиуретановые полимеры вытеснили все остальные пенополиуретаны в сфере производства сэндвич-панелей. Панели с PIR snискали широкую популярность благодаря термической стабильности и огнестойкости.

Характеристики среднего слоя панелей, изготавливаемых на непрерывных линиях, могут меняться в зависимости от толщины панели. Компоненты смеси подбираются таким образом, чтобы пена быстро поднялась до верхнего облицовочного листа.

В результате у облицовочных листов пена получается несколько более плотной, чем в средней части панели, где расширение происходит свободно. Поскольку рабочая часть непрерывной линии постоянно движется, ячейки, как правило, приобретают яйцевидную форму с ориентацией по направлению вспенивания. Таким образом, на непрерывных линиях выпускаются панели с характерными для каждого конкретного предприятия структурой и свойствами среднего слоя.

В Таблице 1 приведены основные характеристики вспенивателей, применяемых в настоящее время при изготовлении жестких ППУ. Под давлением (при сжатии или сдвиге панели) стенки газонаполненных ячеек полиуретановой пены разрушаются, вследствие чего она теряет свою жесткую структуру. Средняя плотность среднего слоя обычно составляет 35—50 кг/м<sup>3</sup>. Эксперименты показали, что при одной и той же плотности меньшей теплопроводностью обладает тот образец ППУ, у которого средний размер ячеек меньше. При этом чем больше плотность, тем выше прочность материала.

Таблица 1.  
Физико-химические характеристики различных вспенивателей

Название	Молекулярная формула	Молекулярный вес, г/моль	Теплопроводность при 25 °С, мВт/м К	Точка кипения, °С	Давление насыщенного пара при 20 °С, Бар	Предел горючести, % объема в воздухе
Фреон-11	C-Cl <sub>3</sub> F	137,5	7,8	24	0,88	нет
Фреон-141b	CH <sub>3</sub> C-Cl <sub>2</sub> F	116,9	9,8	32	0,69	5,6-17,6
Фреон-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	102,0	14,3	-26	5,62	нет
Фреон-245fa	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	134,0	12,2	15	1,24	нет
Фреон-365mfc	CH <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	148,0	10,6	40	0,47	3,5-9,0
И-Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,0	14,6	36	0,65	1,4-8,3
Изопентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,0	13,8	28	0,80	1,4-7,6
Циклопентан	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70,0	12,6	50	0,34	1,4-7,8
Углекислый газ	CO <sub>2</sub>	44,0	16,3	-78	56,55	Нет
Воздух	N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	28,8	26,5	-193	624,03	Нет

Таким образом, ППУ с меньшей плотностью обеспечивает более эффективную изоляцию, но выходит весьма хрупким. На графиках ниже приведена зависимость теплопроводности жестких ППУ от плотности, полученная

экспериментальным путем.

Рисунок 4.

Зависимость теплопроводности ППУ от среднего размера ячеек

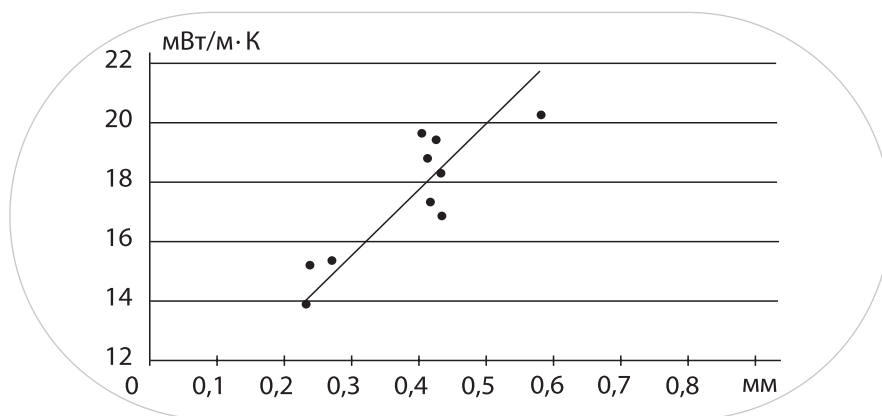
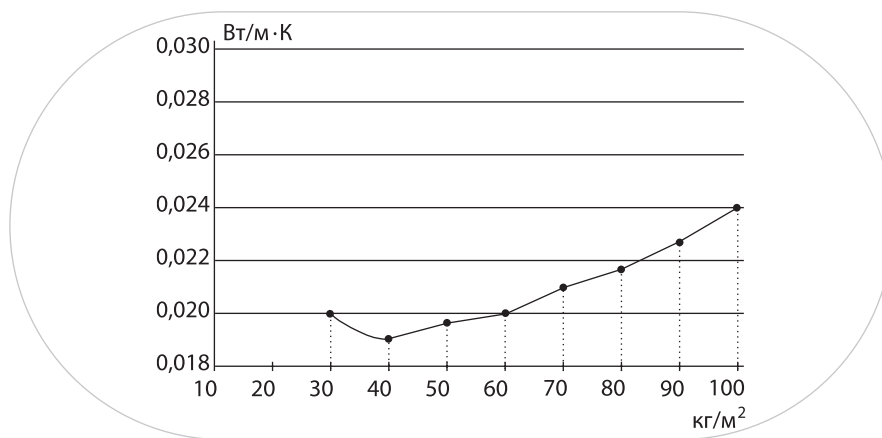


Рисунок 5.

Зависимость теплопроводности от плотности ППУ



Как видно из графиков, лучшими теплоизоляционными свойствами обладает ППУ плотностью около 40 кг/м<sup>3</sup>. Далее будет показано, что образцы панелей с наполнителем такой плотности также имеют достаточную конструктивную жесткость.

В ходе производства постоянно контролируется качество и другие параметры ППУ (и PUR, и PIR). Ниже представлены результаты испытаний твердого ППУ, которые регулярно проводятся в научно-исследовательском центре «Дау Изолан».

Таблица 2.

Результаты испытаний образцов PUR. Компонент А — Voracor CD443, компонент В — Voracor CD 345

Показатель	Край с деформацией	Край без видимой деформации	Нормативная документация
Кажущаяся плотность в ядре, кг/м <sup>3</sup>	39,4	37,8	ГОСТ 409
Напряжение сжатия при 10% деформации кПа	158,3	208,8	ГОСТ 17177-87
Разрушающее напряжение при изгибе, кПа	330	330	ГОСТ 18564
Величина прогиба в момент разрушения, мм	13,2	13,2	ГОСТ 18564
Водопоглощение за 24 часа, %	1,6	1,6	ГОСТ 23486-79
Прочность сцепления ППУ с листами при равномерном отрыве, кПа	Верх	117,4	ГОСТ 23486-79
	Низ	207,4	

Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К	0,022	0,022	ГОСТ 7076-99
Стабильность размеров +75 °С, 24ч,%	$\Delta L$		
	$\Delta B$	<1	<1
	$\Delta H$		

Таблица 3.

Результаты испытаний фрагмента сэндвич-панели с PIR. Компонент А — Voraterm CN815, без использования праймера

Показатель	Шип	Центр	Паз	Нормативная документация	
Общая плотность кг/м <sup>3</sup>	40,8	41,2	40,9	ГОСТ 409	
Кажущаяся плотность в ядре, кг/м <sup>3</sup>	39,5	39,4	39,2	ГОСТ 409	
Напряжение сжатия при 10% деформации кПа	По высоте	116,17	99,97	115,25	
	По длине	318,87	317,48	317,53	ГОСТ 23206-78
	По ширине	125,41	125,25	119,88	
Водопоглощение за 24 часа, %		1,50		ГОСТ 20869-75	
Прочность сцепления ППУ с листами при равномерном отрыве, кПа	Верх	134,39	110,77	132,16	ГОСТ 22695-77
	Низ	118,12	111,54	100,32	
Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К		0,022		ГОСТ 22695-77	

## §1.5 ЧЕМ СИСТЕМА PIR PREMIER ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ДРУГИХ PIR СИСТЕМ?

Кастомизированный бленд PIR Premier уже более трех лет гарантирует качество сэндвич-панелей и «PIR Плиты»®: теплопроводность и физико-механические характеристики, ведь он создан для использования именно на установленных в «ПрофХолоде» линиях. Тогда как большинство российских производителей сэндвич-панелей с пенополиуретаном используют универсальные готовые решения от ограниченного круга производителей сырьевых систем.

«ПрофХолод» создал PIR Premier в партнерстве с международными концернами Dow, BASF, Evonik в 2016 году. Система сертифицирована по европейскому стандарту EN 14509. А все сэндвич-панели с ППУ «ПрофХолод» с 2017 года обладают знаком CE.

К маю 2019 года мы произвели для вас более 5 000 000 квадратных метров сэндвич-панелей с PIR Premier, более 5000 тонн полиольных систем.

И клиенты «ПрофХолода», более 2000 юридических лиц в год, могут подтвердить неизменное качество утеплителя.

### В ЧЕМ СЕКРЕТ?

Система PIR Premier производится с учетом всех особенностей итальянских непрерывных линий Pu.Ма и уникальна мгновенной интеграцией в производство.

Чтобы гарантировать качество сэндвич-панелей и «PIR Плиты»®, компоненты системы проходят тщательный отбор в Научно-исследовательском центре «ПрофХолода», созданном в 2016 году.



Критерием отбора служат физико-механические свойства пены, лучшая растекаемость, низкая теплопроводность, — всего 36 параметров. Проводятся испытания по водопоглощению, стабильности размеров и потере массы в соответствии с ГОСТом на ячеистые пластмассы.

Чтобы повысить качество контроля одного из основных компонентов системы, полиэфира, мы провели переговоры с 10 поставщиками реактивов со всего мира и заключили контракт с европейскими компаниями, продукция которых используется крупнейшими мировыми концернами: BASF, Dow, Huntsman, Coim, Evonic, Covestro.

Для внедрения рецептуры на линии «ПрофХолод» провел около 100 испытаний 9 катализаторов от 5 поставщиков со всего мира, чтобы подобрать оптимальное соотношение катализаторов, давления, компонентов и скорости движения пресса на линиях «ПрофХолода».

Чтобы гарантировать качество каждого квадратного метра панели в каждой партии, Научно-исследовательский центр в онлайн-режиме контролирует состав и характеристики сэндвич-панелей с помощью мониторинга 14 показателей с линии.

Чтобы добиться повышения эксплуатационных свойств сэндвич-панелей и определить оптимальные технологические режимы для каждой из толщин панелей, Центр ежедневно собирает и обрабатывает более 4 ГБ статистики и информации с непрерывной линии.

Согласно европейскому стандарту EN 14509, в Научно-исследовательском центре «ПрофХолода» проводятся испытания по разрушающему контролю:

- На разрыв
- Сжатие
- Сдвиг среднего слоя
- Изгиб пролета пены

и по не разрушающему:

- Искусственное старение
- Измерение теплопроводности

Каждую неделю мы разрушаем, режем, рвем, жмем, гнем, сжигаем, греем до 100 и более градусов, топим в воде, морозим в специальной камере до 50 погонных метров образцов продукции, выходящей с наших линий.

Благодаря этому сэндвич-панели с утеплителем PIR Premier демонстрируют сопротивление более 185 кПа при испытаниях прочности на сжатие при 10% деформации и более 160 кПа на разрыв при плотности 40 кг/м<sup>3</sup>.

Чтобы гарантировать качество не только за счет проверки компонентов и регулировки технологического режима, но и на молекулярном уровне, в 2020 году «ПрофХолода» установил на производстве самый современный в России реактор немецкой H&S Anlagentechnik по синтезу сложных полиэфиров. Потому что мы верим, что именно здесь, в России, «ПрофХолод» можем производить наукоемкие продукты, чтобы экономить вам энергию и деньги.

## §1.6 МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЛИСТЫ ДЛЯ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

«ПрофХолод» производит металлическую обшивку панелей из металлических листов, которые удовлетворяют стандартам, перечисленным в таблице 3.

Таблица 3.  
Стандарты металлической обшивки ППУ-сэндвич-панелей

Металлические листы	Минимальный предел текучести	ГОСТ
Оцинкованный лист	220 МПа	ГОСТ 14918-80 ГОСТ Р 52246-2016
Оцинкованный лист с полимерным покрытием	220 МПа	ГОСТ 30246-2016 ГОСТ Р 52146-2003 ГОСТ Р 54301-2011
Нержавеющая сталь	220 МПа	ГОСТ 19904-90, EN 10088-1:2005
Листы из алюминиевого сплава марки АМг2 1/2Н	140 МПа	ГОСТ 21631-76

В качестве материала стальной обшивки (за исключением обшивки из нержавеющей стали) используется рулонная сталь по ГОСТ 14918-80, группы Б первого класса покрытия. Используются также зарубежные аналоги

рулонной тонколистовой стали с защитным антикоррозийным покрытием из цинка (Zn), 5%-м алюмо-цинковым покрытием (5% Al-Zn) или покрытием на основе алюминия, цинка и кремния (55% Al- Zn).

Покрытия на органической основе выбираются в зависимости от импа здания и требований к долговечности. Допускаются многослойные защитные покрытия.

Класс и толщина каждого из металлических листов указываются для каждой партии сэндвич-панелей. Минимальная толщина металлической обшивки панелей «ПрофХолод» составляет 0,4 мм, максимальная — 0,7 мм.

Значение минимального предела текучести обшивки из нержавеющей стали приведено в таблице 4. Химический состав обшивки и ее физические свойства соответствуют ГОСТ 5632-14. Для ее изготовления «ПрофХолод» применяет листовую или рулонную сталь по ГОСТ 19904-90 или их зарубежные аналоги марок AISI 304<sup>1</sup> для пищевой промышленности и AISI 430<sup>2</sup> общего назначения.

Таблица 4.  
Технические характеристики металлической облицовки панелей

Предел текучести не менее	280 МПа
Предел текучести не более	320 МПа
Временное сопротивление разрыву не менее	360 МПа
Относительное удлинение не менее	30%
Общая масса цинкового покрытия с обеих сторон листа не менее	275 г/м <sup>2</sup>
Средняя толщина цинкового покрытия не менее	20 мкм
Стандартная ширина стального листа	1250 мм
Средняя толщина полиэфирного покрытия для крашенных листов	25–30 мк

## §1.7 ЛИНИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

Сэндвич-панели изготавливаются стандовым (периодическим), или непрерывным способом. При стандовом, или периодическом, способе производства пенообразующая смесь заливается в закрытую форму, соответствующую по размерам будущей панели.

### ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

На периодических линиях нижний облицовочный лист укладывается на дно формы, верхний — закрепляется наверху на специальных опорах. Вся конструкция очень прочная и выдерживает давление расширяющейся пены. На торцах формы или матрицы предусмотрены небольшие отверстия для выпуска воздуха и излишков пены, благодаря им пена распределяется равномерно по всей форме.

Пенообразующая смесь впрыскивается в полость через форсунку в боковом отверстии формы. Эта операция занимает всего несколько секунд. После завершения пенообразования панель выдерживается в форме под прессом от 15 до 50 минут в зависимости от толщины, после чего извлекается, а форма подготавливается к заливке следующей панели. Таким способом можно изготавливать панели разных форм с разной облицовкой. Недостатком стандового способа является медлительность процесса. Даже если одна бригада рабочих циклически обслуживает несколько стандов, а на каждом станде, в свою очередь, производится до двух панелей одновременно, производительность невысока.

### НЕПРЕРЫВНЫЕ ЛИНИИ

Непрерывные автоматические линии используются на крупных производствах. Процесс создания панелей

<sup>1</sup>AISI 304 основной сорт в семействе нержавеющей сталей, содержащий минимум 18% хрома и 8% никеля. Такое содержание хрома обеспечивает формирование оксидного слоя на поверхности стали, что придает материалу устойчивость к воздействию разнообразных химических веществ.

<sup>2</sup>AISI 430 ферритная хромистая коррозиестойкая сталь общего назначения, получившая наиболее широкое распространение.

полностью автоматизирован. Непрерывные линии позволяют выпускать за смену 500 тыс. кв. метров сэндвич-панелей со скоростью 15 метров в минуту. При этом стоит учитывать, что мощность линии не влияет на качество сэндвич-панелей.

Облицовка панелей производится из двух рулонов металла, которые обрабатываются коронарным разрядом, который снимает статическое электричество с металлического листа для улучшения адгезии с полиуретановой пеной. Установкой для снятия статического электричества комплектуются большинство линий, причем все эти установки выпускает один итальянский производитель.

Затем панели пропускаются через профилировочную установку, где формируется профиль будущей панели с краями, образующими замок. Требования по отклонениям замков от заданных параметров заложены в ТУ у каждого производителя. Как правило, у всех производителей они одинаковые. Затем на листы наносится праймер, клеевой слой, который повышает адгезию пены к металлу и панели нагреваются до температуры, которая обеспечивает хорошую адгезию. Пенообразующая смесь вводится между двумя листами, после чего заготовка панели поступает в пресс-нагреватель, удерживающий облицовочные листы на необходимом расстоянии друг от друга. По бокам панели движется цепь формователей, формирующих внутреннюю часть замка. Готовые панели без остановки линии обрезаются до нужной длины ленточной пилой, которая у всех производителей изолирована в отдельное помещение из-за громкости процесса. Затем панели проходят через охладитель, укладываются и упаковываются для отправки заказчику. На готовую продукцию наносится защитная пленка.

Поскольку процесс формирования пены не заканчивается на выходе из линии и продолжается еще около 24 часов, готовые сэндвич-панели отстаиваются на складе при контролируемом температурном режиме. Данный завершающий цикл, как и все предыдущие этапы, является исключительно важным для формирования заданной геометрии панелей. Все новые линии комплектуются индивидуально по техническому заданию заказчика по принципу конструктора. Поэтому если вам скажут, что линия особенная из-за того, что собрана под заказ, отнеситесь к этому с должным скептицизмом.

Фотография 1.

Участок непрерывной линии производства сэндвич-панелей компании Рu.Ма, Италия, установленной на заводе «ПроФХолод»



# ГЛАВА 2. ПАРАМЕТРЫ И СВОЙСТВА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ ИЗ ППУ

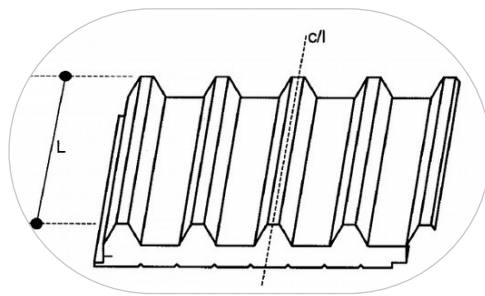
## §2.1 ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

Таблица 5.

Пределные отклонения геометрических параметров сэндвич-панелей

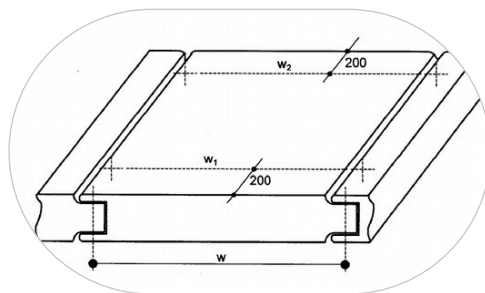
Параметр	Схематическое представление	Пределное отклонение
Толщина панели		при $D \leq 100$ мм: 2 мм при $D > 100$ мм: $\pm 2\%$
Отклонение от плоскостности в зависимости от величины промежутка $L$ , на котором проводится измерение		при $L = 200$ мм: 0,6 мм при $L = 400$ мм: 1,0 мм при $L > 700$ мм: 1,5 мм
Высота профилировки кровельной панели		$h = \frac{h_1 + h_2}{2}$ $h = (40 \pm 1) \text{ мм}$
Глубина микропрофиля стеновой панели		$(1,5 \pm 0,3) \text{ мм}$

Длина панели

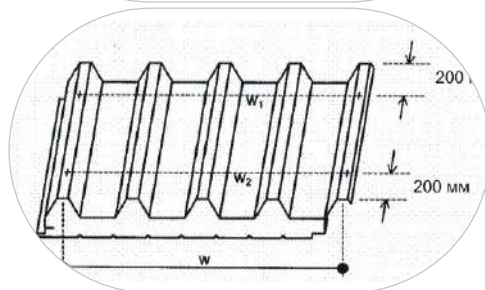


при  $L \leq 3$  м:  $\pm 5$  мм  
при  $L > 3$  м:  $\pm 10$  мм

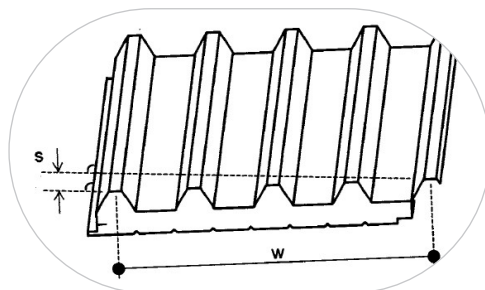
Рабочая ширина



$\pm 2$  мм

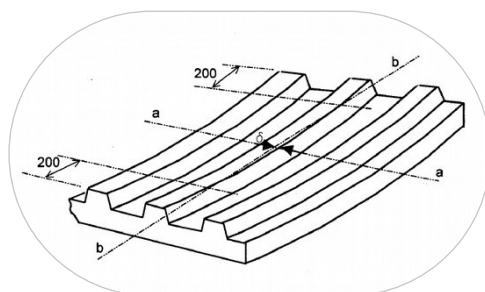


Отклонение  
от перпендикулярности



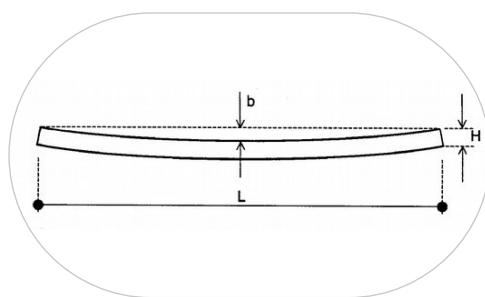
0,6% рабочей ширины

Отклонение  
от перпендикулярности



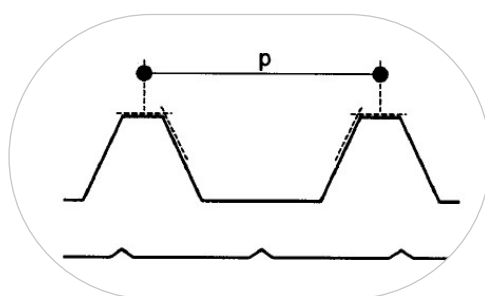
1 мм на 1 м, максимум 5 мм

Отклонение  
от перпендикулярности



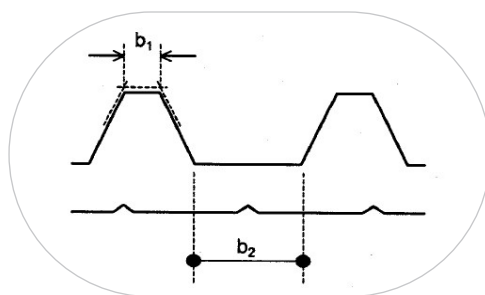
2 мм на 1 м, максимум 10 мм  
8,5 мм на 1 м ширины  
для микропрофилированных  
стеновых панелей 10 мм  
на 1 м ширины  
для кровельных панелей

Растр профиля  
кровельных панелей



$P = (250 \pm 2) \text{ мм}$

Ширина верхнего пояса  
( $b_1$ ) и ширина нижнего  
пояса ( $b_2$ )



$b_1: \pm 1 \text{ мм}$   
 $b_2: \pm 2 \text{ мм}$

## §2.2 ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ ИЗ ППУ: ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА И ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Тепловые потери в зданиях и сооружениях обусловлены двумя физическими явлениями:

1. теплопроводностью материалов ограждающих конструкций (пола, стен и потолка)
2. проникновением воздуха через естественные поры ограждающих сооружений (естественной вентиляцией)

Потери тепла, вызванные первой причиной, снижают путем перехода на материалы с меньшей теплопроводностью, а потери, вызванные второй, — изготовлением ограждающих конструкций воздухонепроницаемых материалов и использованием эффективных методов искусственной вентиляции.

Сэндвич-панели надежно предотвращают тепловые потери, связанные с вышеперечисленными факторами.

Толщина теплоизоляции для зданий разного назначения и разных климатических условий на территории Российской Федерации определяется путем теплотехнических расчетов, выполняемых на основе СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» и СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

Рассмотрим подробнее основные физические понятия, описывающие теплоизоляционные свойства различных материалов и конструкций.

Одно из таких понятий в термодинамике — теплопроводность, не путайте с коэффициентом теплопроводности.

Теплопроводность — это перенос теплоты структурными частицами вещества (молекулами, атомами, электронами) в процессе их теплового движения. Кинетическая энергия атомов и молекул, которая и определяет температуру тела, передается более нагретыми участками тела его менее нагретым участкам или другому телу при взаимодействии с ним. Такой теплообмен может происходить в любых телах с неоднородным распределением температуры, но сам механизм переноса теплоты зависит от агрегатного состояния вещества.

В установившемся режиме поток энергии, передаваемой посредством теплопроводности через стену площадью  $S$  за единицу времени, пропорционален разности температур по обе стороны стены и обратно пропорционален толщине стены. Если речь идет о стационарном потоке тепла через стену из сэндвич-панелей, то тепловые потери между листами их обшивки выражаются следующей формулой:

$$Q = -\lambda \frac{S\Delta T}{\delta} \quad (1)$$

где Q — полная мощность тепловых потерь в единицу времени, S — площадь рассматриваемой стенки, ΔT — перепад температур по обе стороны панели, δ — толщина теплоизоляционного слоя.

Множитель λ, называемый коэффициентом теплопроводности, служит для количественной оценки способности конкретного материала проводить тепло. Этот коэффициент измеряется в Вт/(м\*К). Важно понимать, что он представляет собой физическую характеристику материала, то есть определяется только его внутренней структурой, а не формой и размерами.

Таблица 6.

Коэффициенты теплопроводности основных строительных материалов

Материал	λ <sub>declared</sub> Вт/м*К
Алюминий	202–236
Сталь	47–60
Стекло	1,15
Кирпич строительный	0,87
Бетон сплошной	1,7
Пенобетон	0,14–0,30
Дерево	0,15
Минеральная вата	0,046
Пенополистирол	0,04
Пеноизол	0,035
Воздух (сухой неподвижный)	0,024–0,031
Пенополиуретан (PUR/PIR)	0,021–0,023

Обычно нормативный (или декларируемый) коэффициент теплопроводности ППУ (как PUR, так и PIR) лежит в диапазоне 0,021–0,022 Вт/(м\*К). Согласно EN 14509-2005, в качестве декларируемого коэффициента теплопроводности производитель обязан указывать не единичные «рекордные значения», а такую величину, которая характеризует не менее 90% изделий с вероятностью 90%.

Для тепловых расчетов важен не столько нормативный (декларируемый) коэффициент теплопроводности, сколько так называемый расчетный λ-design, то есть «пригодный» для теплофизических расчетов.

В чем же разница между ними? В этом вопросе в странах ЕС и в РФ приняты два совершенно разных подхода.

В ЕС, как уже мы отмечали, действует единый стандарт EN 14905-2005 на сэндвич-панели, который четко регламентирует методики определения всех важных с точки зрения проектирования параметров сэндвич-панелей, в том числе и расчетного коэффициента теплопроводности. При этом все методы расчета прописаны для целого спектра материалов, применяемых для изготовления среднего слоя панелей, и учитывают их особенности с точки зрения длительной эксплуатации (долговечности), которые порой сильно различаются.

Так, под расчетным коэффициентом теплопроводности жестких ППУ, согласно EN 14509 и EN 13165-2008, понимают коэффициент с поправкой на старение материала. Основным же фактором старения ППУ считается улетучивание газового реагента, которым наполнены ячейки, и его замещение воздухом.

Воздействие влаги на теплопроводность панелей не рассматривается, так как панели снабжены внешней металлической влагозащитной обшивкой, что полностью исключает проникновение влаги в средний слой при правильном монтаже.

Коэффициент теплопроводности ППУ следует указывать для условий эксплуатации А (2% увлажнение по массе) и Б (5% увлажнение по массе), при этом в нормативной документации не принимается во внимание тот факт, что мы имеем дело не просто с ППУ, а с ППУ в полностью влагозащитной оболочке.

Коэффициент теплопроводности зависит в том числе и от влажности, но применительно к сэндвич-панелям это имело бы значение только если панели смонтированы с ошибками, в результате которых влага проникает в средний слой через негерметизированные стыки между панелями, и в результате ППУ эксплуатируется во влажной среде.

Периодические или сезонные изменения уровня влажности никак не отражаются на структуре ППУ и не вносят никакого вклада в его старение. Для минеральной ваты воздействие влаги является главным фактором старения.

Коэффициент теплопроводности зависит также от температуры окружающей среды, но ни европейский EN 14509-2005, ни российский ГОСТ 54855-2011 не обязывают производителей предварительно нагревать образцы для определения расчетного коэффициента теплопроводности. Теплоизоляционные свойства ППУ ухудшает в первую очередь диффузия газового реагента и его замещение воздухом, а воздействие влаги представляет собой второстепенный фактор, который следует учитывать только при соответствующих условиях эксплуатации.

Таблица 8 показывает различия в определении расчетного коэффициента теплопроводности в России и странах ЕС.

Таблица 7.

Декларируемый и расчетный коэффициенты теплопроводности панели согласно EN 14509-2008

Характеристика	Декларируемый коэффициент теплопроводности	Расчетный коэффициент теплопроводности*	Основной фактор старения
Коэффициент теплопроводности	Значение $\lambda$ , с вероятностью 90% характеризующее 90% изделий в сухом состоянии, полученное при средней температуре образцов 10°C, не подвергавшихся процедуре искусственного старения	Значение $\lambda$ , с вероятностью 90% характеризующее 90% изделий в сухом состоянии, полученное при средней температуре образцов 10°C, прошедших процедуру искусственного старения*	Замещение газового реагента воздухом

\* Процедура искусственного старения зависит от типа вспенивающего реагента (см. EN 13165-2008).

Расчетный коэффициент всех типов панелей с металлической (воздухонепроницаемой) обшивкой указывается с приращением, равным 0,001 Вт/(м\*К), EN 13165-2008.

Таблица 8.

Номинальный и расчетный коэффициенты теплопроводности строительных материалов согласно СНиП 23-02-2003

Характеристика	Коэффициент теплопроводности	Условия эксплуатации А	Условия эксплуатации
Коэффициент теплопроводности	Согласно ГОСТ 7076-78, среднеарифметическое значение коэффициента теплопроводности как минимум пяти образцов в сухом состоянии	Коэффициент теплопроводности при эксплуатации в условиях 2% увлажнения	Коэффициент теплопроводности при эксплуатации в условиях 5% увлажнения

### §2.3 РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПАНЕЛИ U И ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ R

Помимо коэффициента теплопроводности, для описания теплоизолирующих свойств различных ограждающих конструкций (стен, потолков, кровли и, в частности, сэндвич-панелей) используют такие параметры, как коэффициент теплопередачи U и термическое сопротивление R. Через коэффициент U формула для потока тепла через стену из сэндвич-панелей записывается

$$Q = US\Delta T \quad (2)$$

где U — коэффициент теплопередачи сэндвич-панели, зависящий от ее толщины и имеющий размерность Вт/(м²\*К); S — площадь поверхности стенки в м²; а  $\Delta T$  — разность температур воздуха по обе стороны сэндвич-панели, называемая еще температурным напором.

Термическое сопротивление R характеризует способность тела (либо его поверхности или слоя) препятствовать тепловому движению молекул. Различают полное термическое сопротивление, обратно пропорциональное коэффициенту теплопередачи, поверхностное термическое сопротивление, обратно пропорциональное коэффициенту теплоотдачи, и термическое сопротивление слоя, равное отношению толщины слоя к его коэффициенту теплопроводности.

Коэффициент теплопередачи U в более общем случае определяется как



$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{t_{ni}}{\lambda_{fi}} + \frac{(d_c + \Delta e)}{\lambda_{design}} + \frac{t_{ne}}{\lambda_{fe}} + R_{se}} + \frac{\Psi}{B} \quad (3)$$

где

$d_c$  — номинальная толщина среднего слоя (без учета толщины обшивки), м

$t_{ni}$  — номинальная толщина внутренней обшивки, м

$t_{ne}$  — номинальная толщина внешней обшивки, м

$\lambda_{design}$  — расчетный коэффициент теплопроводности среднего слоя, Вт/(м\*К)

$\lambda_{fi}$  — расчетный коэффициент теплопроводности внутренней обшивки, Вт/(м\*К)

$\lambda_{fe}$  — расчетный коэффициент теплопроводности внешней обшивки, Вт/(м\*К)

$\Delta e$  — дополнительная толщина, создаваемая за счет профилирования, м

$\Psi$  — коэффициент теплопередачи стыков в расчете на метр ширины панели, Вт/(м\*К)

$B$  — общая ширина панели, м

$R_{si}$  — поверхностное термическое сопротивление внутренней поверхности, м<sup>2</sup>\*К/Вт

$R_{se}$  — поверхностное термическое сопротивление внешней поверхности, м<sup>2</sup>\*К/Вт

Согласно EN ISO 6946, Rsi и Rse принимают значения, указанные в таблице ниже.

Таблица 9.

Направление потока тепла

Направление потока тепла			
	Кровля	Стены	Пол
Внутренняя поверхность $R_{si}$ м <sup>2</sup> К/Вт	0,10	0,13	0,17
Внешняя поверхность $R_{se}$ м <sup>2</sup> К/Вт	0,04	0,04	0,04

Величина  $\Delta e$ , имеющая большое значение для кровельных панелей, зависит от формы и высоты профилировки.

Рисунок 6.

Определение величины  $\Delta e$  согласно EN 14509-2008:

$b_1 = 20$  мм,  $b_2 = 60$  мм,  $h = 40$  мм,  $p = 250$  мм

для панелей «ПрофХолод»

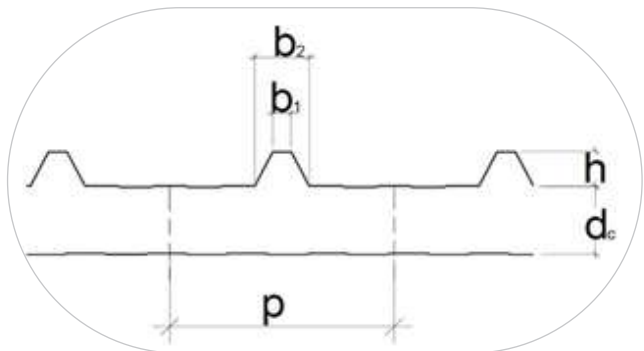


Таблица 10.  
Определение величины  $\Delta e$  (мм) для кровельных панелей

	Высота ребер $h$ , мм			
	$10 \leq h \leq 25$	$25 \leq h \leq 50$	$50 \leq h \leq 70$	$h > 70^*$
$r < 25\%$	1	2	2	2
$25\% < r \leq 50\%$	3	5	6	7
$50\% < r \leq 60\%$	5	9	12	14
$60\% < r \leq 70\%$	7	12	16	19
$70\% < r \leq 85\%$	8	15	20	24

\* При  $h > 120$ мм требуется более точный расчет

Здесь

$$r = \frac{0,5(b_1 + b_2)}{p} = \frac{16}{100}, \text{ т. е. } 16\% \quad (4)$$

Отсюда видно, что для кровельных панелей «ПрофХолод»  $\Delta e = 2$  мм.

Формула (4) может быть представлена в альтернативном виде:

$$U = \frac{1}{R_s + \frac{t_n}{\lambda_f} + \frac{d_c + \Delta e}{\lambda_{design}} + \frac{t_n}{\lambda_f} + R_g} \left( 1 + f_{joint} \frac{1,0}{B} \right) \quad (5)$$

где  $f_{joint}$  — коэффициент теплопередачи стыков в расчете на метр длины стыков, см. таблицу 12.

Таблица 11.  
Коэффициент теплопередачи стыков ( $f_{joint}$ ) для стальной обшивки

Толщина, мм	$f_{joint}$	
	Кровля	Стена
60	0,04	0,20
80	0,04	0,20
120	0,04	0,10
160	0,04	0,10
200	0,03	0,10

В качестве примера рассчитаем коэффициент теплопередачи стеновой ППУ-сэндвич-панели толщиной 100 мм и шириной 1190 мм с металлической обшивкой толщиной 0,5 мм:

- внешняя поверхность:  $R_{se} = 0,04 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
- 0,5 мм стальной лист:  $\lambda_{fe} = 60 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
- 100 мм ППУ:  $\lambda_{design} = 0,026 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
- 0,5 мм стальной лист:  $\lambda_{fi} = 60 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
- внутренняя поверхность:  $R_{si} = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

Согласно формуле имеем:

$$U = \frac{1}{0,04 + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{60} + \frac{102 \cdot 10^{-3}}{0,026} + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{60} + 0,13} \cdot \left( 1 + 0,1 \cdot \frac{1,0}{1,185} \right) \approx 0,26 \quad (6)$$

## §2.4 СРАВНЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

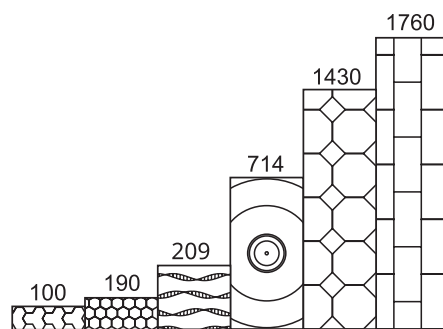
Понятие термического сопротивления позволяет наглядно сравнивать теплоизоляционные свойства различных материалов.

В таблице 13 представлены коэффициенты теплопроводности различных строительных материалов, вычисленные на основе декларируемого коэффициента теплопроводности, а также в графической форме показано, какой толщины эти материалы должны быть, чтобы обеспечить такую же теплоизоляцию, как 100 мм слой пенополиуретана PUR или PIR.

Таблица 12.

Теплопроводность строительных материалов и сравнение толщины их слоев, при которой обеспечивается одинаковая по эффективности изоляция, в графической форме

Материал	$\lambda$ , Вт/(м*К)	Толщина, мм
ППУ (PUR/PIR)	0,022	100
Пенополистирол	0,04	190
Минвата	0,046	209
Дерево	0,15	714
Керамзитобетон	0,3	1430
Строительный кирпич	0,37	1760



Все строительные материалы при указанной в таблице толщине обладают одинаковым сопротивлением теплоотдаче  $4,76 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ .

## §2.5 ТЕПЛОЕМКОСТЬ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Панели представляют собой легкие строительные конструкции, а значит, отличаются относительно небольшой способностью накапливать тепло по сравнению с традиционными материалами, такими как, например, бетон.

Теплоемкость  $C$  какой-либо части строения определяется ее средней удельной теплоемкостью  $c$  с теплоемкостью материала  $\text{Вт}/\text{кг} \cdot \text{К}$  и массой  $m$  [кг]:  $C = mc$  [ $\text{Вт}/\text{кг} \cdot \text{К}$ ].

Ниже в таблице приведены значения удельной теплоемкости и плотности некоторых строительных материалов.

Таблица 13.

Удельная теплоемкость строительных материалов

Материал	$\lambda$ , Вт/(м*К)	Толщина, мм
Бетон	2300	900
Легкий бетон	500	1000
Дерево	500	2300
Минвата	7800	500
Керамзитобетон	70–150	1030
PUR, PIR	40–42	1400

Сравним теплоемкость бетонной стены толщиной 100 мм с теплоемкостью такой же по толщине PUR сэндвич-панели. Будем считать, что толщина среднего слоя составляет 100 мм, а листов металлической обшивки — 0,5 мм.

Бетон 100 мм:  $C = 2300 \times 0,1 \times 900 = 207\,103 \text{ Вт}/\text{К}$

Сэндвич-панель с PUR 100 мм:  $C = 40 \times 0,1 \times 1400 + 7800 \times 0,001 = 5607,8 \approx 5,61\,103 \text{ Вт}/\text{К}$

Из сравнения следует, что теплоемкость бетона превышает теплоемкость панелей более чем в 36 раз.

Для возведения внутренних стен и перекрытий в современных зданиях выгоднее использовать материалы с большой теплоемкостью, которые способны аккумулировать значительное количество тепла. Однако,

если речь идет о внешних стенах, целесообразнее отдать предпочтение материалам с хорошими теплоизоляционными свойствами. В этом случае понадобится гораздо меньше энергии для поддержания заданной температуры внутри помещения, причем как пониженной (в холодильных складах и т. п.), так и комфортной в бытовом плане в административных и жилых зданиях. Если внешние стены выполнены из легких конструкций с невысокой теплоемкостью, таких как сэндвич-панели, то требуемая температура установится в помещении существенно быстрее.

## §2.6 МОСТЫ ХОЛОДА И МИНИМИЗАЦИЯ И ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

Мосто́ми холо́да называют участки ограждающих конструкций, характеризующиеся пониженным термическим сопротивлением. Они обычно возникают при монтаже панелей, когда материал с хорошей теплопроводностью, например, металл, одновременно контактирует с внутренней и внешней сторонами панели. Такие участки не только увеличивают тепловые потери, но и создают риск конденсации влаги на поверхности панели.

Поэтому монтаж сэндвич-панелей проводится согласно определенным правилам, с использованием специально разработанных узлов, предотвращающих возникновение мостов холода. Дверные и оконные проемы также обрамляют специальным прерывающим профилем.

В качестве крепежных саморезов необходимо использовать специальные стальные шурупы с низкой теплопроводностью, по возможности с малым поперечным сечением и с резиновой прокладкой. При возведении зданий из сэндвич-панелей следует прежде всего избегать образования мостов холода. От качества монтажа зависит, насколько эффективно панели будут выполнять свою основную функцию — обеспечивать теплоизоляцию.

Таблица 14.

Основные характеристики стеновых сэндвич-панелей «ПроФХолод» с наполнителем из пенополиуретана и пенополиизоцианурата

Тип наполнителя	PUR/PIR										
Плотность	(40 ± 2) кг/м <sup>3</sup>										
Толщина панелей, мм	40	50	60	80	100	120	140	150	160	180	200
Вес, кг/м <sup>2</sup>	8,5- 9,5	8,9- 9,9	9,7- 10,7	10,4- 11,6	11,2- 12,4	11,9- 13,2	12,7- 14,1	13,1- 14,5	13,5- 14,9	14,2- 15,8	15- 16,6
Максимальная длина	16 000 мм										
Ширина	1 200 мм										
Рабочая ширина	1 190 мм										
Толщина металла	≥ 0,45 мм										
Поверхность металла	профилированная / гладкая										
Стандартное исполнение	RAL 9003/Zn (некрашенный оцинкованный лист)										
Коэффициент теплопроводности	0,022 Вт/мК										
Коэффициент термического сопротивления	1,90	2,38	2,86	3,81	4,76	5,71	6,67	7,14	7,62	8,57	9,52
Влагопоглощение за 24 часа при относительной влажности воздуха 96%	12,5%										
Водопоглощение за 24 часа при полном погружении, % от объема	2,5%										
Звукоизоляция	25 дБ										

Таблица 15.

Основные характеристики кровельных сэндвич-панелей «ПроФХолод» с наполнителем

из пенополиуретана и пенополиизоцианурата

Тип наполнителя	PUR/PIR					
Плотность	(41 ± 2) кг/м <sup>3</sup>					
Толщина панелей, мм	40	60	80	100	120	150
Вес, кг/м <sup>2</sup>	9,8	10,7	11,5	12,3	13,1	14,4
Максимальная длина	16 000 мм					
Ширина	1 071 мм					
Рабочая ширина	1 000 мм					
Толщина металла	≥ 0,45 мм					
Поверхность металла	профилированная / гладкая					
Стандартное исполнение	RAL 9003/Zn (некрашенный оцинкованный лист)					
Коэффициент теплопроводности	0,022 Вт/мК					
Коэффициент термического сопротивления	2,0	2,95	3,90	4,86	5,81	7,24
Влагопоглощение за 24 часа при относительной влажности воздуха 96%	1—2,5%					
Водопоглощение за 24 часа при полном погружении, % от объема	2,5%					
Звукоизоляция	35 дБ					

Таблица 16.  
Пожаростойкость стеновых и кровельных PUR- и PIR-панелей

Материал	Изделие	40 мм	60 мм	80—120 мм	150—200 мм
Предел огнестойкости	Стеновые PUR-панели	EI 15			
	Стеновые PIR-панели	EI 15	EI 30		EI 45
	Кровельные PIR-панели	RE 15	RE 15	RE 30	RE 30
Класс пожарной опасности	Кровельные PIR-панели	K1 (15)			
Группа горючести		Г1			
Группа воспламеняемости		В1			
Дымообразующая способность	Стеновые PIR-панели	Д3			
Группа по токсичности продуктов горения		Т2			
Группа по распространению пламени по поверхности		РП1			

## §2.7 ЦВЕТ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

Цвета панелей подразделяются на три группы, в зависимости от термического поглощения энергии. Группы определяются согласно Таблице 6. Светлые оттенки, естественно, поглощают меньше световой энергии и лучше отражают.

В соответствии с Европейским стандартом на сэндвич-панели с металлическими облицовками EN 14509 температура T наружной облицовки имеет максимальное значение, характерное для летнего периода, которое зависит от цвета и коэффициента отражения ее поверхности. Значения T являются минимальными для расчетов предельного состояния от солнечной радиации.

Таблица 18.

Температура нагрева металла в зависимости от цвета обкладки сэндвич-панели

Group I	Group II			Group III		
1013	1000	1001	1002	2002	2013	3000
1015	1003	1004	1005	3002	3003	3004
1016	1006	1007	1011	3005	3007	3009
1018	1012	1014	1017	3011	3013	3020
1026	1019	1020	1021	3032	4004	4007
6019	1023	1024	1027	5000	5001	5002
7047	1028	1032	1033	5003	5004	5005
9001	1034	1035	1036	5007	5008	5009
9003	1037	2000	2001	5010	5011	5013
9010	2003	2004	2005	5014	5022	5026
9016	2007	2008	2009	6000	6001	6002
	2010	2011	2012	6003	6004	6005
	3001	3012	3014	6006	6007	6008
	3015	3016	3017	6009	6010	6011
	3018	3022	3024	6012	6014	6015
	3026	3027	3031	6020	6022	6029
	3033	4001	4002	7000	7012	7015
	4003	4005	4006	7016	7021	7022
	4008	4009	4010	7024	7026	8004
	4011	4012	5012	8011	8012	8014
	5015	5018	5021	8015	8016	8017
	5024	5025	6013	8019	8022	8023
	6016	6017	9018	8025	8028	
	6021	6024	6025	9005	9007	
	6027	6032	6033			
	6034	6035	6036			
	7001	7002	7003			
	7004	7005	7006			
	7008	7009	7010			
	7011	7013	7023			
	7030	7031	7032			
	7033	7034	7035			
	7036	7037	7038			
	7039	7040	7042			
	7043	7044	7046			
	7048	7075	8000			
	8001	8002	8003			
	8007	8008	8024			
	8029	9002	9006			
	9022					

# ГЛАВА 3. ВНЕШНИЕ НАГРУЗКИ НА ПАНЕЛИ

## §3.1 ПРИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИИ ПАНЕЛЕЙ ИЗ-ЗА РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР НА ИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

При выборе цвета панелей для внешних ограждающих конструкций необходимо учитывать возможную деформацию панелей в результате нагрева их внешней стороны из-за сильного светопоглощения. Проблема может возникнуть при любых условиях, когда температура между листами обшивки панелей сильно различается. Термическая деформация, вызванная такой разностью температур, характеризуется коэффициентом линейного термического расширения металла  $\alpha_L$ :

$$\Delta L = \alpha_L \cdot L \cdot \Delta T \quad (7)$$

где  $L$  — линейная длина (ширина) панели,  $\Delta L$  — величина термического удлинения,  $\Delta T$  — перепад температур.

В зависимости от состава материала коэффициент  $\alpha_L$  металлических листов варьируется от  $11 \cdot 10^{-6}$  до  $13 \cdot 10^{-6}$  ( $1/^\circ\text{C}$ ). При колебаниях температуры его значение остается практически неизменным. Если температуры на поверхностях сэндвич-панели различаются, то панель будет испытывать поперечную деформацию. Величина прогиба в центре панели длиной  $L$  при этом составит:

$$\Delta X = \frac{\theta L^2}{8} \quad (8)$$

где  $\theta = (\alpha_2 T_2 - \alpha_1 T_1)/D$  где  $D$  — расстояние между центрами металлических листов,  $T_1$  и  $T_2$  — температуры листов обшивки.

Для деформации панели толщиной  $d$ , обшитой металлическими листами одинаковой толщины  $\delta$ , получим:

$$\Delta X = \frac{\alpha_L \Delta T \cdot L^2}{8(d - \delta)} \quad (9)$$

Значения деформации для панелей длиной 3 и 6 м при разности температур  $55^\circ\text{C}$  на внутреннем и внешнем листах обшивки приведены в таблице 18.

Таблица 18.

Термическая деформация панелей длиной 3 и 6 м при разности температур  $55^\circ\text{C}$  между листами обшивки

Толщина панели, мм	Термическая деформация при $\Delta T = 55^\circ\text{C}$ , см	
	L = 6 м	L = 3 м
40	7,43	1,86
50	5,94	1,49
60	4,95	1,24
80	3,71	0,93
100	2,97	0,74
120	2,48	0,62
150	1,98	0,50
200	1,49	0,37

Из таблицы следует, что при использовании подверженных сильному нагреванию панелей с внешней обшивкой темных оттенков, входящих в группы II или III, целесообразнее возводить малые пролеты.

## §3.2 НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ

В противовес традиционным теплоизоляционным материалам, которые применяются только в качестве утеплителей, сэндвич-панели представляют собой самонесущие конструкции для небольших строений. В частности, для холодильных камер.

Очевидно, что по отдельности два тонких слоя металла и слой жесткого пенополиуретана не обладают такой

же несущей способностью, как сэндвич-панель в целом. Из-за своей незначительной жесткости на изгиб тонкие металлические листы обшивки едва ли могут выдержать собственный вес. Точно так же средний слой из полиуретана достаточно легко деформируется вследствие низкого модуля упругости. Однако все вместе они образуют трехслойную конструкцию с высокой несущей способностью. Поперечная нагрузка в такой конструкции распределяется следующим образом: изгибающий момент воспринимают только внешние слои, так как средний слой обладает малой жесткостью при растяжении и сжатии по сравнению с ними, а поперечное усилие, наоборот, принимает на себя средний слой, поскольку внешние слои из-за своей небольшой толщины не способны воспринимать поперечную нагрузку.

Таким образом, усилие сдвига действует на средний слой, который и отвечает за несущую способность всей трехслойной конструкции. С увеличением его прочности на сдвиг возрастает жесткость всей панели. Отметим, что если панель снабжена профилированной обшивкой, то на распределение поперечной нагрузки влияет и собственная изгибная жесткость листов обшивки. В этом случае изгибающий момент

и поперечное усилие воспринимает как сама обшивка, так и вся панель в целом: на верхний слой металла действует усилие сжатия, на нижний — усилие растяжения, а на средний слой из ППУ — усилие сдвига. Чтобы средний слой панели воспринимал сдвигающие усилия и обеспечивал устойчивость внешних слоев, слои должны быть прочно соединены, то есть необходима хорошая адгезия.

Механические характеристики трехслойных панелей, как правило, описывают с помощью теории балок, в которую вносят некоторые изменения, учитывающие сдвиговые характеристики сердцевины панелей.

Рассмотрим балку в виде сэндвич-панели с облицовкой из металлических листов одинаковой толщины  $\delta$ , между которыми заключен однородный средний слой из ППУ толщиной  $d-2\delta$  и длиной  $L$  (рисунок 7).

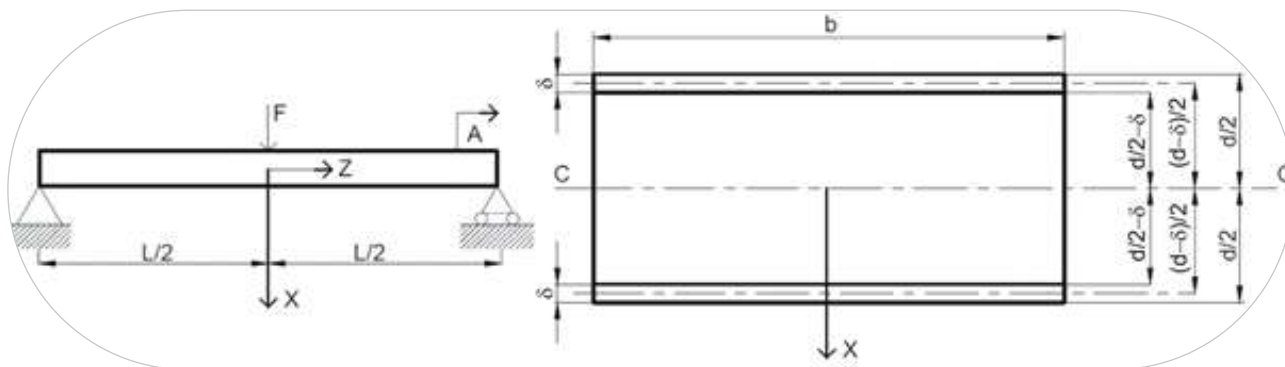
В первую очередь определим изгибную жесткость панели  $D$ . Если изгибная жесткость обычной двутавровой балки определяется как произведение модуля упругости (эластичности) на момент инерции  $I$ , то изгибная жесткость сэндвич-панели равна сумме жесткостей ее отдельных слоев, при этом жесткость каждого слоя рассчитывается относительно центральной оси:

$$D = \frac{E_F b \delta^3}{6} + \frac{E_F b \delta \cdot (d - \delta)^2}{2} + \frac{E_C b (d/2 - \delta)^3}{12} \quad (10)$$

где  $E_F$  и  $E_C$  — модули упругости металлических листов и полиуретановой сердцевины соответственно, остальные величины показаны на рисунке 7.

Рисунок 7.

Представление сэндвич-панели в виде балки. Основные обозначения



Первое слагаемое в выражении соответствует изгибной жесткости листов металлической обшивки относительно их центральной оси, второе представляет собой изгибную жесткость металлических листов относительно центральной оси панели, третье описывает жесткость полиуретановой сердцевины относительно ее оси, которая, в принципе, совпадает с центральной осью панели. Первое слагаемое в выражении (10) составляет менее 1% второго, если выполняется следующее условие:

$$\frac{d}{\delta} > 6,7 \Rightarrow \frac{E_F \delta \cdot (d - \delta)^2}{E_C (d/2 - \delta)^3} > 16,7 \quad (11)$$

Таким образом, если условие (11) справедливо, формулу (10) можно переписать в виде:

$$D = \frac{E_F b \delta \cdot (b - \delta)^2}{2} + \frac{E_C b (d/2 - \delta)^3}{12} \quad (12)$$



Даже для самой тонкой панели толщиной 40 мм  $d/\delta=80 > 6,7$ , а значит, формула (12) верна. Поскольку мы считаем, что толщина металлической обшивки намного меньше толщины панели:  $\delta/d < 1$ , то первым слагаемым в формуле (10) по сравнению с двумя другими можно пренебречь.

Второе слагаемое в формуле (12) составляет менее 1% первого, если

$$\frac{E_F \delta \cdot (d - \delta)^2}{E_C (d/2 - \delta)^3} > 16,7 \quad (13)$$

Под нагрузкой в панелях возникают напряжения, которые, при некоторых допущениях, также описываются классической теорией балок. При изгибе панели силы сжатия воздействуют на нее выше «нейтральной» оси С-С, а силы растяжения — ниже оси С-С:

$$\varepsilon_x = \frac{Mx}{D} \quad (14)$$

где  $\Sigma x$  — растяжение или сжатие на расстоянии  $x$  от нейтральной оси С-С,  $M$  — сдвигающий момент,  $D$  — изгибная жесткость панели.

Чтобы получить напряжение, возникающее при изгибе сэндвич-панели, величину деформации (14) следует умножить на модуль упругости. Так как сэндвич-панель — это неоднородная структура, то произведение записывается для разных ее частей (см. рисунок 8):

$$\sigma_m = \frac{Mx}{D} E_F \quad \frac{d}{2} - \delta < x < \frac{d}{2} \quad -\frac{d}{2} < x < -\frac{d}{2} + \delta \quad (15)$$

$$\sigma_p = \frac{Mx}{D} E_C \quad -\frac{d}{2} + \delta < x < \frac{d}{2} - \delta \quad (16)$$

Здесь  $\sigma_m$  — напряжение в металлических листах обшивки панели, а  $\sigma_p$  — напряжение в полиуретановой сердцевине. Максимальные напряжения достигаются, когда  $x$  принимает максимальные значения в указанных пределах:

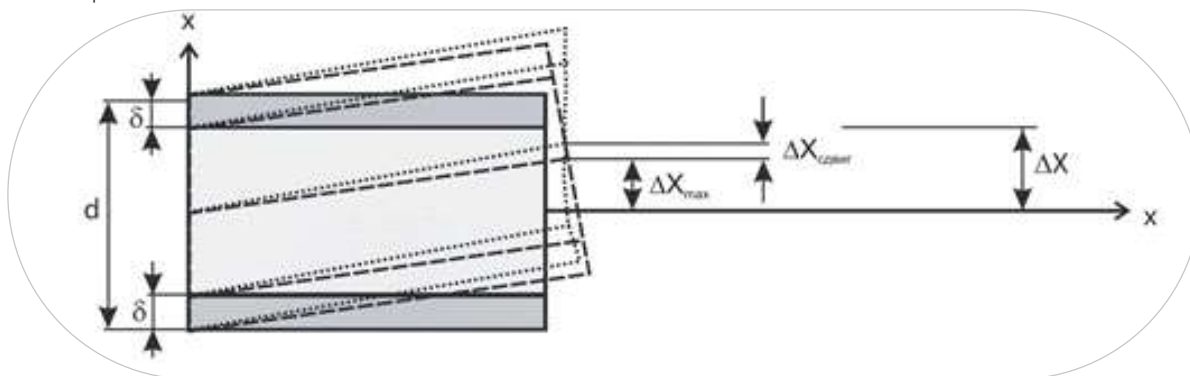
$$\sigma_m^{\max} = \frac{Md}{2D} E_F \quad \sigma_p^{\max} = \frac{M(d/2 - \delta)}{D} E_C \quad (17)$$

Здесь  $\sigma_m$  — напряжение в металлических листах обшивки панели, а  $\sigma_p$  — напряжение в полиуретановой сердцевине. Максимальные напряжения достигаются, когда  $x$  принимает максимальные значения в указанных пределах:

$$x = \frac{k_1 E^3}{E_F J_F} + \frac{k_2 E}{G_C S_C} \quad (18)$$

где  $F$  — приложенная сила,  $E_F^* J_F$  — произведение модуля упругости стальной обшивки на ее момент инерции (или, иначе, изгибная жесткость металлической обшивки),  $G_C$  — модуль сдвига пенополиуретановой сердцевины,  $S$  — площадь ее поперечного сечения.

Рисунок 8.  
Изгиб трехслойной панели



На рисунке 8 показано общее отклонение панели от нормального положения, вызванное изгибом и сдвигом. Первое слагаемое в приведенном выше выражении, хорошо известное из теории балок, описывает изгиб панели, а второе — ее сдвиг, возникающий за счет сдвига сердцевины. Коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$ , зависящие от граничных условий, приведены в таблице ниже.

Таблица 19.  
Прогибы сэндвич-панелей

Схема нагрузки	$k_1$	$k_2$	Описание
	$\frac{1}{384}$	$\frac{1}{8}$	Равномерно распределенная нагрузка. Концы закреплены
	$\frac{5}{384}$	$\frac{1}{8}$	Равномерно распределенная нагрузка. Концы свободны
	$\frac{1}{192}$	$\frac{1}{4}$	Локализованная в центре нагрузка. Концы закреплены
	$\frac{1}{48}$	$\frac{1}{4}$	Локализованная в центре нагрузка. Концы свободны

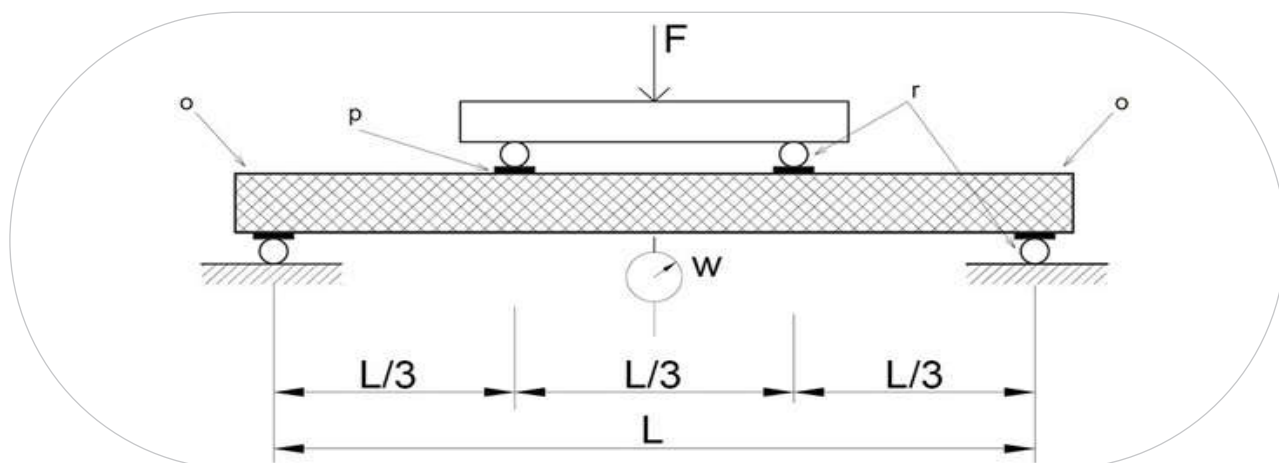
Для момента инерции  $J$  и площади поперечного сечения утеплителя имеем:

$S = 119(d - 2\delta)$ , где 119 — ширина панели в см,  $\delta$  — толщина металлической обшивки,  $d$  — толщина панели. Здесь и далее мы для простоты будем считать металлическую обшивку гладкой, то есть непрофилированной. Профилированная обшивка отличается гораздо более высоким моментом инерции, который зависит от глубины профилирования и придает панелям дополнительную жесткость.

Одной из основных характеристик упругих свойств сэндвич-панели служит модуль сдвига ее среднего слоя, который в нашем случае выполнен из ППУ. Этот важный параметр измеряется, согласно EN 14509, в процессе испытаний панели на изгиб при четырехточечном воздействии.

Ширина грузораспределительных пластин  $L_s$  должна составлять 60–100 мм для предотвращения местного сдвигания листов обшивки панели.

Рисунок 9.  
 Схема испытаний на прогиб при 4-точечном воздействии



$F$  — приложенная сила,  $r$  — валики радиусом 15 мм,  $w$  — измеряемый изгиб панели,  $p$  — грузораспределительные пластины толщиной 8–12 мм и шириной  $L_s$ ,  $o$  — выпуск испытываемой панели, не превышающий 50 мм.

Модуль сдвига среднего слоя  $G_c$  рассчитывают по формулам:

$$B_S = \frac{E_{F_1} A_{F_1} E_{F_2} A_{F_2}}{E_{F_1} A_{F_1} + E_{F_2} A_{F_2}} e^2 \quad \text{жесткость при изгибе (19)}$$

$$\Delta X_B = \frac{\Delta F \cdot L^3}{56,34 B_S} \quad \text{деформация, обусловленная изгибом (20)}$$

$$\Delta X_S = \Delta X - \Delta X_B \quad \text{деформация сдвига (21)}$$

$$G_c = \frac{\Delta F \cdot L}{6 b d_c \Delta X_S} \quad \text{модуль сдвига (22)}$$

где

$E_{F_1}$  — модуль упругости верхнего листа обшивки;

$A_{F_1}$  — измеренная площадь поперечного сечения верхнего листа обшивки

$A_{F_2}$  — измеренная площадь поперечного сечения нижнего листа обшивки

$E_{F_2}$  — модуль упругости нижнего листа обшивки

$e$  — измеренное расстояние между центрами тяжести листов обшивки, то есть  $(d/2 - \delta/2)$

$\Delta X$  — прогиб в середине пролета при увеличении нагрузки  $\Delta F$ , рассчитываемой по наклону линейного отрезка кривой, выражающей зависимость деформации от нагрузки

$d_c$  — толщина среднего слоя ( $d_c = d - (\delta_1 + \delta_2)$ ), то есть толщина панели за вычетом толщины обоих листов обшивки

$b$  — измеренная ширина образца.

Испытания, проведенные в лаборатории DowChemical согласно DIN 53294-1982, показали, что модуль сдвига небольших образцов ППУ составляет 21 кгс/м<sup>2</sup>. Однако для сэндвич-панелей более важен интегральный модуль сдвига, определяемый методом четырехточечного воздействия.

Согласно результатам измерений, модуль сдвига  $G_c$  для ППУ-панелей лежит в диапазоне 40–45 кгс/м<sup>2</sup>.

При выполнении всех вычислений мы учитываем, что панель прогибается под воздействием равномерно распределенного собственного веса, то есть под формулировкой «нагрузка» необходимо принимать только внешнюю нагрузку, которая действует по нормали к горизонтально расположенной панели и направлена вниз. Температуру на поверхностях сэндвич-панели в данном случае считаем одинаковой. Допустимый прогиб самонесущих потолочных и кровельных панелей, на которых при монтаже разрешается одновременно находиться максимум одному человеку, принимают равным  $L/200$ , где  $L$  — длина пролета<sup>11</sup>. Для фасадных и стеновых панелей допустимая величина прогиба составляет  $L/100$ <sup>11</sup>.

В таблицах ниже приведены значения допустимой нагрузки для  $x = L/200$ .

Таблица 20.

Допустимые значения равномерно распределенной нагрузки для строительных панелей «ПрофХолод» с закрепленными концами

Толщина панели, мм	Допустимая нагрузка (нетто), кгс/м <sup>2</sup>					Схема нагружения (допустимый прогиб L/200)
	Длина панели, м					
	2	3	4	5	6	
40	141	82	52	33	21	
50	183	109	71	48	33	
60	224	136	91	63	44	
80	307	191	131	94	69	
100	390	246	171	125	94	
120	473	301	212	157	120	
150	598	383	273	206	160	
180	723	466	335	254	199	
200	806	521	376	287	226	

Таблица 21.

Допустимые значения равномерно распределенной нагрузки для строительных панелей «ПрофХолод» со свободными концами

Толщина панели, мм	Допустимая нагрузка (нетто), кгс/м <sup>2</sup>					Схема нагружения (допустимый прогиб L/200)
	Длина панели, м					
	2	3	4	5	6	
40	106	47	21	8	2	
50	144	68	34	16	7	
60	183	91	48	26	13	
80	263	139	79	46	27	
100	344	189	113	69	43	
120	426	241	148	94	61	
150	549	320	202	133	90	
180	673	399	259	175	121	
200	755	453	297	204	143	

Таблица 22.

Допустимые значения локализованной в центре нагрузки для строительных панелей «ПрофХолод» с закрепленными концами

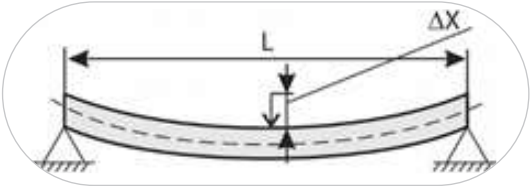
Толщина панели, мм	Допустимая нагрузка (нетто), кгс/м <sup>2</sup>					Схема нагружения (допустимый прогиб L/200)
	Длина панели, м					
	2	3	4	5	6	
40	167	146	123	100	78	
50	216	194	170	145	119	
60	265	242	215	186	158	
80	363	339	309	278	245	
100	462	436	405	371	335	
120	560	534	502	466	427	
150	708	680	647	608	567	
180	856	827	792	752	708	
200	954	925	890	848	803	

Таблица 23.

Допустимые значения локализованной в центре нагрузки для строительных панелей «ПрофХолод» со свободными концами

Толщина панели, мм	Допустимая нагрузка (нетто), кгс/м <sup>2</sup>					Схема нагружения (допустимый прогиб L/200)
	Длина панели, м					
	2	3	4	5	6	
40	133	91	56	29	7	
50	180	132	91	56	29	
60	227	175	127	86	53	
80	323	264	206	154	110	
100	420	356	289	228	174	
120	517	449	376	306	243	
150	663	591	511	430	355	
180	810	735	648	559	474	
200	908	831	741	647	555	

Еще раз подчеркнем, что все приведенные выше данные получены путем теоретических расчетов при рассмотрении исключительно внешней нагрузки, равномерно распределенной по всей площади панели за вычетом ее собственного веса. Таким образом, при вычислениях учитывалось не только воздействие вышеуказанных нагрузок, но и провисание панели за счет собственного веса, что особенно важно для потолочных панелей. Кроме того, мы предположили, что адгезия пенополиуретана с металлическими листами абсолютно прочна и приняли допустимую величину прогиба L/200.

При выборе толщины потолочных панелей рекомендуется в обязательном порядке руководствоваться Таблицей 23, если в процессе монтажа панелей планируется перемещаться по ним. В этом случае панель должна выдерживать вес монтажника плюс собственный равномерно распределенный вес.

Приведем также величины прогиба панелей, который они испытывают только под воздействием собственного веса в зависимости от длины пролета.

Представленная ниже таблица полезна при расчете параметров потолочных панелей, перемещение людей по которым ни во время монтажа, ни во время эксплуатации не предусматривается, так что панели прогибаются только под собственным весом.

Таблица 24.

Величина прогиба потолочных панелей под собственным весом при одинаковых температурах обшивок

Толщина панели, мм	Величина прогиба в центре, мм		Масса панели, кг
	Длина пролета панели 6 м		
	Концы закреплены	Концы свободны	
60	5,8	13,6	75,7
80	4,3	8,9	81,3
100	3,4	6,6	87
120	2,9	5,3	92,7
140	2,6	4,4	98,4
150	2,4	4	101,3
160	2,3	3,8	104,1
180	2,1	3,4	109,8
200	2	3	115,5

\*Необходимо отметить, что, согласно стандарту EN 14509, в дополнение к указанным значениям прогиба допускается начальное отклонение панели от нормального положения величиной до 1/500 ее длины.

### §3.3 НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КРОВЕЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Кровельные панели существенно отличаются от стеновых тем, что одна из их поверхностей снабжена глубокой профилировкой, поэтому ее наличие необходимо обязательно учитывать в расчетах, рисунки 27, 28.

Несущим характеристикам профилированных панелей посвящено огромное количество теоретических исследований. Все они содержат довольно сложные математические выкладки, поэтому мы обратимся к упрощенной теории, в основе которой лежит наглядное предположение: приложенная к панели нагрузка распределяется между двумя ее «независимыми» частями: «плоской» и «гребневой». При этом обе части панели изгибаются одинаково, но в деформацию «плоской» части, помимо всего прочего, вносит вклад также сдвиг среднего слоя панели, тогда как при описании деформации «гребневой» части учитывается только изгиб металлической обшивки.

В этом случае, получаем относительно простое соотношение для прогиба панели в центре под действием равномерно распределенной нагрузки:

$$\Delta x = \frac{5E^3}{384B_S} (1 - \beta)(1 + k) \quad (23)$$

$$\beta = \frac{(1 + k)B_D}{B_S + (1 + k)B_D} \quad k = \frac{9,6B_S}{A_C G_{\text{эфф}} L^2} \quad B_D = E_{F2} I_{F2} \quad (24)$$

$$B_S = \frac{E_{F1} A_{F1} E_{F2} A_{F2}}{E_{F1} A_{F1} + E_{F2} A_{F2}} e^2 \quad S = \frac{G_C e^2 b}{d_c} = A_C G_{\text{эфф}} \quad (25)$$

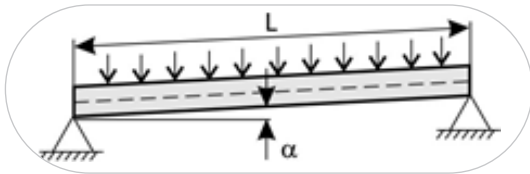
Где  $B_S$  — жесткость по отношению к изгибу (изгибная жесткость),  $S$  — жесткость по отношению к сдвигу

«гладкой» части панели,  $Bd = E_{F1} * I_{F1} + E_{F2} * I_{F2} \approx E_{F2} * I_{F2}$  — изгибная жесткость «гребневой» части, так как нижний слой мы считаем плоским,  $A_c = b * e$  — эффективная площадь сечения среднего слоя,  $e$  — эффективная толщина среднего слоя,  $E_{F1} = E_{F2}$  — модули упругости верхнего и нижнего слоев, которые мы предполагаем равными друг другу,  $G_c$  — модуль сдвига среднего слоя.

В таблице 25 приведены значения нагрузки в кгс нетто, то есть за вычетом собственного веса, при которых однопролетная кровельная панель прогибается в центре на 1/200 своей длины.

Таблица 25.

Допустимые значения нагрузки на кровельные панели, соответствующие прогибу L/200, нагрузка считается равномерно распределенной

Толщина панели, мм	Величина пролета L, м						Схема нагружения (допустимый прогиб L/200)
	Длина панели, м						
	1,5	2	3	4	5	6	
40	475	254	106	56	32	20	
60	583	333	154	86	53	34	
80	690	414	200	119	76	51	
100	800	490	250	150	97	69	
120	910	570	310	192	128	89	
150	1075	700	389	249	170	120	

Обратите внимание, что воздействие нагрузки, характеризующейся представленными в таблице 25 значениями, не приводит к разрушению кровельной панели, а лишь вызывает ее прогиб на 1/200 длины. Поскольку они рассчитывались для горизонтальной плоской кровли, то, если кровля имеет наклон под углом  $\alpha$ , их необходимо умножить на  $\cos \alpha$ .

Эти данные позволяют получить общее представление о допустимой снеговой нагрузке на кровлю из сэндвич-панелей, но более точное определение ее величины требует также учитывать возможный изгиб панелей, обусловленный разностью температур на листах их обшивки. Окончательные допустимые расчетные значения снеговой нагрузки на кровельную панель должны соответствовать нормативным значениям снеговой нагрузки в данной местности.

Согласно СП 20.13330.2016, территория Российской Федерации подразделяется на восемь снеговых зон. Нормативные значения снеговой нагрузки в этих зонах составляют:

Снеговые районы РФ	Ia	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$S_g$ , кгс/м <sup>2</sup>	20	100	150	4 200	300	400	480	560

Величина  $S_g$  приведена в расчете на вес одного квадратного метра снегового покрова. Расчетное значение снеговой нагрузки на кровлю вычисляют по формуле:

$$S = S_g * \mu \quad (26)$$

Коэффициент  $\mu$  зависит от наклона кровли. Точнее, это и есть косинус угла наклона кровли  $\cos \alpha$ , о котором мы уже упоминали, однако СП 20.13330.2016 предлагает руководствоваться более широкими требованиями и считать

$\mu = 1$  при углах наклона  $< 25^\circ$

$\mu = 0,7$  при углах наклона от  $25^\circ$  до  $60^\circ$   $\mu = 0$  при углах наклона  $> 60^\circ$

### §3.4 РАЗРУШАЮЩЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ

Как мы уже отмечали, под воздействием поперечной нагрузки в панели возникает момент сил, который сжимает ее верхний слой и растягивает нижний. Напряжение сжатия в верхнем листе обшивки сэндвич-панели определяется выражением, указанным в формуле 17.

$$\sigma_m^{\max} = \frac{Md}{2D} E_F = \frac{Md}{b\delta \cdot (d - \delta)^2} \quad (27)$$

Выше мы привели теоретические значения для так называемых допустимых значений нагрузки, когда изгиб панели составляет 1/200 часть ее длины. Однако на самом деле нагрузка ограничивается некоей предельной величиной, в случае превышения которой панель разрушается. Воздействие такой критической нагрузки чаще всего сопровождается образованием складки на верхнем листе обшивки панели, или, другими словами, его смятием, фотография 3. Напряжение аскл, при котором обшивка сминается, вычисляется по следующей формуле (2), (8), (10):

$$\sigma_{скл} = k\sqrt[3]{E_F E_C G_C} \quad (23)$$

Как и прежде, здесь  $E_F$  — модуль упругости стальной обшивки,  $E_C$  — модуль упругости полиуретановой сердцевины и  $G_C$  — модуль ее сдвига.

Принято считать, что эмпирический коэффициент  $k$  определяет «качество» панели и зависит от способа ее изготовления:

- $k$  равен 0,65 для сэндвич-панелей со средним слоем из ППУ, изготавливаемых непрерывным способом,
- $k$  лежит в диапазоне 0,5—0,65 для всех остальных сэндвич-панелей, в том числе и панелей из минваты или ППУ, изготавливаемых периодическим способом.

Европейский стандарт EN 14509 устанавливает  $k = 0,5$  для всех типов сэндвич-панелей.

Момент сил, возникающий при воздействии равномерно распределенной силы  $F$  на незакрепленную панель в поперечном направлении, рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{FLd}{8} \quad (28)$$

где  $F$  — полная действующая на панель сила, включающая ее собственный вес, а  $L$  — длина панели.

Из формул 26 и 28 для величины напряжения получаем:

$$\sigma_m = \frac{FLd}{8\delta \cdot b(d - \delta)^2} \quad (29)$$

Отсюда выводится выражение для разрушающей силы, которая приводит к образованию складок на верхнем слое сэндвич-панели:

$$F = \frac{8b\delta \cdot (d - \delta)^2}{Ld} k\sqrt[3]{E_F E_C G_C} \quad (30)$$

Отметим еще раз, что формула 30 описывает полную силу  $F$ , действующую на незакрепленную панель, включая ее собственный вес.



Таблица 26.

Значения разрушающей силы (кгс) для трех- и шестиметровых панелей разной толщины без учета веса самих панелей. Значения приведены для незакрепленных панелей, лежащих на опорах.

Толщина панели, мм	L = 3 м	L = 6 м
40	390	143
50	499	194
60	607	247
80	822	350
100	1038	454
120	1250	557
140	1469	661
150	1577	712
180	1900	868
200	2115	971

### §3.5 РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ФРОНТАЛЬНАЯ НАГРУЗКА НА ВЕРТИКАЛЬНО ЗАКРЕПЛЕННУЮ ПАНЕЛЬ. ВЕТРОВЫЕ НАГРУЗКИ НА ОГРАЖДЕНИЯ ИЗ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

Несмотря на то что представленные расчеты носят исключительно теоретический характер, они дают реалистичное представление о прочностных характеристиках сэндвич-панелей с наполнителем из пенополиуретана.

На практике внешние стены сооружений в основном испытывают температурные и ветровые нагрузки.

Перейдем теперь к анализу ветровых нагрузок на закрепленную стеновую панель. Давление ветра на ее поверхность определяется формулой Бернулли:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (31)$$

где  $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$ ,  $v$  — средняя скорость ветра в данной местности.

При проектировании зданий из панелей необходимо руководствоваться СП 20.13330. 2016 «Нагрузки и воздействия», где детально разъяснены методы расчета ветровой нагрузки в зависимости от местности, в которой ведется строительство, высоты сооружения и т. д. Обсудим поподробнее допустимую равномерно распределенную нагрузку на вертикально закрепленную стеновую панель. В сущности, с некоторыми допущениями ветровую нагрузку можно считать равномерно распределенной, поэтому результирующий изгиб панели будет описываться формулой:

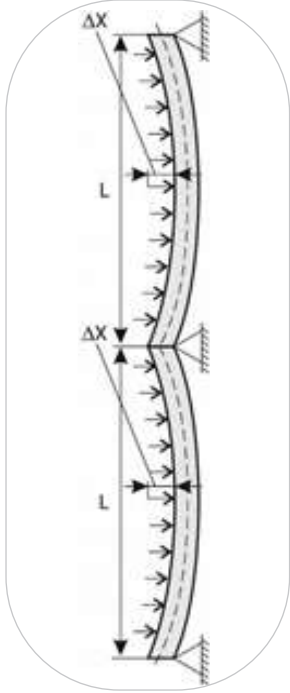
$$\Delta x = \frac{5E^3}{384E_F J_F} + \frac{E}{8E_C S_C} \quad (32)$$

из расчета необходимо исключить собственный вес панели, поскольку он действует в направлении, перпендикулярном ветровой нагрузке. Согласно европейским рекомендациям по сэндвич-панелям, за допустимую нагрузку для стеновых панелей принимают такую нагрузку, при которой прогиб панели не превышает  $L/100$ , где  $L$  — длина панели.

Таблица 27.  
Допустимые значения нагрузки на стеновую однопролетную панель

Толщина панели, мм	Допустимая нагрузка (нетто), кгс/м <sup>2</sup>					Схема нагружения (допустимый прогиб L/100)
	Длина пролета панели, м					
	2	3	4	5	6	
40	264	126	67	39	25	
50	355	176	97	58	37	
60	448	230	131	80	51	
80	638	344	203	128	85	
100	831	463	282	182	123	
120	1026	585	365	240	165	
140	1220	710	452	302	210	
150	1320	773	496	334	234	
160	1418	837	540	367	258	
180	1615	964	630	433	308	
200	1813	1092	722	500	360	

Таблица 28.  
Допустимые значения нагрузки на стеновую двухпролетную панель

Толщина панели, мм	Допустимая нагрузка (нетто), кгс/м <sup>2</sup>					Схема нагружения (допустимый прогиб L/100)
	Длина пролета панели, м					
	2	3	4	5	6	
40	298	164	100	65	44	
50	389	219	137	91	63	
60	481	276	176	119	84	
80	670	393	258	179	129	
100	860	514	343	242	177	
120	1053	636	429	307	228	
140	1245	760	518	375	280	
150	1345	823	563	408	307	
160	1440	885	607	443	335	
180	1640	1010	698	512	390	
200	1834	1139	790	583	446	

Так, при скорости ветра  $v=20$  м/с величина ветровой нагрузки составит:

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20^2 \quad \text{кг/м}^2 \cdot \text{с}^2 = 250 \text{ Н/м}^2 = 25 \text{ кгс/м}^2 \quad (33)$$

Например, панель длиной 6 м и толщиной 100 мм при такой нагрузке отклонится от нормального положения на 6 мм.

Согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», при расчете силы ветра необходимо учитывать некоторые поправочные коэффициенты:

$$P = P_0 \cdot C_e(z) \cdot C_p \quad (34)$$

где коэффициент  $C_e(z)$  зависит от категории местности и высоты, а аэродинамический коэффициент  $C_p$  — от формы постройки и т. д.

В СП 20.13330.2016 даны подробные указания о методах вычисления этих поправочных коэффициентов в соответствии с местоположением, причем не только с географической широтой, но и с локальными особенностями расположения постройки, ее близостью к морю, другим постройкам, горам и пр. Определение ветровой нагрузки для заданного региона и местности позволяет подобрать длину стеновой панели той или иной толщины с помощью таблицы значений допустимой нагрузки.

### §3.6 ВЕРТИКАЛЬНАЯ НАГРУЗКА НА СТЕНОВЫЕ ПАНЕЛИ

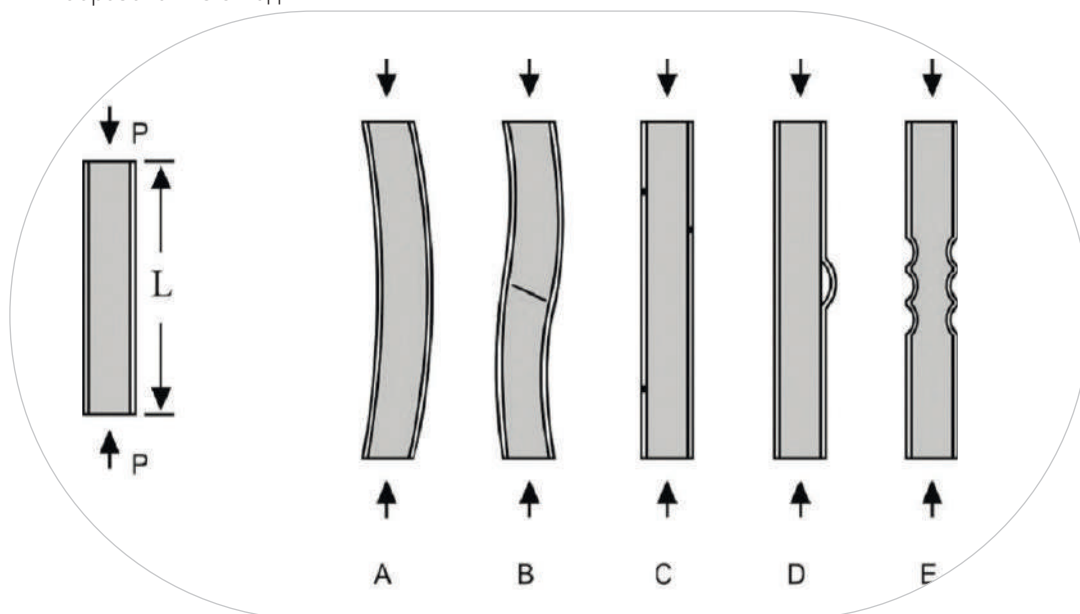
Прочности сэндвич-панелей при вертикальном (продольном) сдавливании посвящено огромное количество теоретических и экспериментальных исследований.

Рассмотрим их основные выводы, которые подтверждают, что панели относительно небольшого размера обладают достаточной прочностью для сборки бескаркасных сооружений.

Согласно результатам исследований, вертикальное давление на сэндвич-панель приводит к возникновению по крайней мере четырех типов деформации:

Рисунок 10.

Аксиальное (продольное) давление на сэндвич-панель и возможные типы деформации: А — общий изгиб, В — излом сердцевины, С — образование микроскладок и вмятин на поверхности металла, D — образование складки



Будем считать панель идеально ровной. Так как жесткость ее металлической обшивки во много раз превосходит жесткость сердцевины из вспененного полиуретана, то,

так же как и в случае с поперечным механическим воздействием, при продольном (аксиальном) давлении на сэндвич-панель всю нагрузку принимают на себя ее металлические поверхности. Одним из возможных типов деформации панели при этом является ее равномерный изгиб (рисунок 10 А) с увеличением нагрузки вплоть до критической, так называемой эйлеровой нагрузки, когда отклонившаяся от нормального положения панель уже не способна вернуться в него и отклонение нарастает до бесконечности:

$$F_A = \frac{\pi^2 B_S}{\beta L^2} = \frac{\pi^2 b \delta \cdot (d - \delta)^2}{\beta L^2} E_F \quad (35)$$

Здесь изгибная жесткость панели обозначена  $B_S$ . Коэффициент  $\beta$  зависит от способа закрепления панели:  $\beta = 2$ , если панель жестко закреплена внизу,  $\beta = 1$ , если панель внизу и вверху закреплена «шарнирно»,  $\beta = 1/2$ , если панель внизу закреплена жестко, а наверху «шарнирно»,  $\beta = 1/4$ , если панель внизу и вверху закреплена жестко.

Излом сердцевины определяется ее модулем сдвига:

$$F_B = b \cdot (d - \delta) G_c \quad (36)$$

где  $b$  — это по-прежнему ширина панели (в нашем случае 1185 мм),  $\delta$  — толщина металлического листа (0,5 мм),  $G_c$  — модуль сдвига сердцевины (пенополиуретана).

Отметим, что эйлеровый прогиб панели может возникнуть при меньшей нагрузке, чем излом сердцевины. Хотя каждый из типов деформации проще описывать по отдельности, на практике они чаще проявляются совместно и, по достижении некоего критического уровня нагрузки, приводят к глобальному разрушению панели. Величина этой критической нагрузки определяется соотношением:

$$\frac{1}{F_c} = \frac{1}{F_A} + \frac{1}{F_B} \quad (37)$$

Таблица 29.

Критическая разрушающая сила, приводящая к необратимому изгибу (повреждению) вертикально нагруженной панели

Толщина панелей, мм	F <sub>cr</sub> (при β = 2)		
	L = 2,5 м	L = 3 м	L = 6 м
40	4065	3230	1070
50	5700	4680	1630
60	7620	6270	2300
80	11600	9800	3900
100	15800	13600	5820
120	20200	17700	8400
140	24700	21600	10400
150	27000	24100	11700
180	34000	30700	15900
200	38700	35300	18900

Образование складки или выпучивание панели происходит при некотором критическом значении напряжения, определяемом выражением (23). Критической нагрузкой, вызывающей выпучивание или образование складки на идеально ровной панели, установленной вертикально и закрепленной внизу, исключая вращение и кручение, следует считать величину

$$F_C = 2\delta \cdot bk\sqrt[3]{E_C E_F G_C} \approx \delta \cdot b\sqrt[3]{E_C E_m G_C} \approx 6620 \text{ кгс} \quad (38)$$

если при такой нагрузке не произойдет глобальное разрушение панели.

В выражении (38) листы обшивки панели, как и прежде, одинаковы и коэффициент k = 0,5.

## ГЛАВА 4. СТЕНОВЫЕ И КРОВЕЛЬНЫЕ ПАНЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА «ПРОФХОЛОД»

### §4.1 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В зависимости от типа панелей, вида утеплителя, габаритных размеров и вида замкового соединения, панели «ПрофХолод» обозначаются в соответствии с нижеприведенной схемой.

Схема обозначения:

X X X X.XX — X / X — X  
1 2 3 4 5 6 7

1. Тип утеплителя PIR Premier, PUR Classic
2. Обозначение вида конструкции панели: панель трехслойная стеновая ПСТ, панель трехслойная кровельная ПКТ
3. Тип замкового соединения:
  - стандартный замок для стеновых панеле
  - замок для стеновых панелей Z-Lock (Z)
  - стандартный замок для кровельных панелей; замок для кровельных панелей Z-Lock (Z)
4. Габаритные размеры (длина в сантиметрах, ширина и толщина в миллиметрах)
5. Условное обозначение вида поверхности наружной стороны сэндвич-панели

- 6. Условное обозначение вида поверхности внутренней стороны сэндвич-панели
- 7. Обозначение на упаковочных листах или сопутствующей документации

Пример условного обозначения трехслойной стеновой панели с PIR Premier, со стандартным типом замкового соединения, длиной 600 см, рабочей шириной 1190 мм, толщиной 100 мм, с листом из оцинкованной стали с наружной стороны и из крашеного металла RAL 9003 с внутренней при толщине полиэфирного покрытия RAL 25–30 мкм:

PIR ПСТ 600.1190.100 – Zn/Ral9003

## §4.2 ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Тип панелей:

- стеновые сэндвич-панели с наполнителем PUR Classic: PUR ПСТ
- стеновые сэндвич-панели с наполнителем PIR Premier: PIR ПСТ, PIR ПСТ Z
- кровельные сэндвич-панели с наполнителем PIR Premier: PIR ПКТ, PIR ПКТ Z

2. Тип замкового соединения:

- стандартный для ПСТ и ПКТ
- Z-Lock (Z) для PIR ПСТ и ПКТ

3. Рабочая ширина панелей:

- 1190 мм для панелей PUR ПСТ, PIR
- ПСТ 1190 мм для панелей PIR ПСТ Z
- 1000 мм для всех типов панелей

4. Минимальная длина панелей: 2000 мм для всех типов панелей

5. Максимальная длина панелей:

- 9300 мм для PUR ПСТ
- 16000 мм для PIR ПСТ; PIR ПСТ Z
- 13600 мм для PIR ПКТ; PIR ПКТ Z

6. Толщины сэндвич-панелей:

- 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 150, 160, 180, 200 мм для PUR ПСТ
- 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200 мм для PIR ПСТ
- 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200 мм для PIR ПСТ Z
- 30, 40, 60, 80, 100, 120, 150 мм для PIR ПКТ
- 50, 60, 80, 100, 120, 150 мм для PIR ПКТ Z

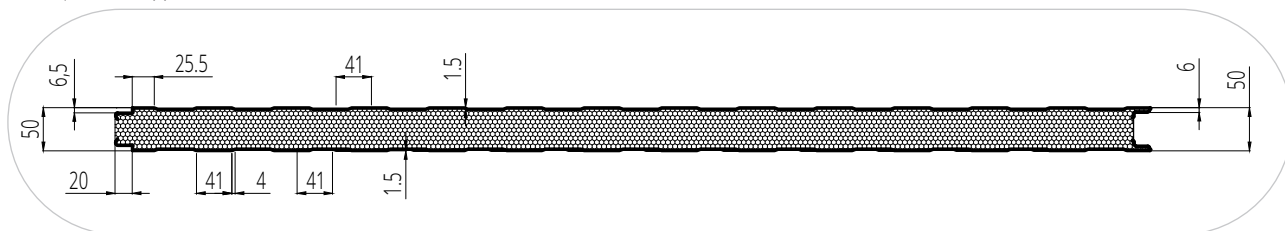
Профилировка поверхности металла придает панелям дополнительную жесткость. Геометрические характеристики панелей, типы замкового соединения и виды накаток металлических листов указаны на рисунках ниже.

Рисунок 11.

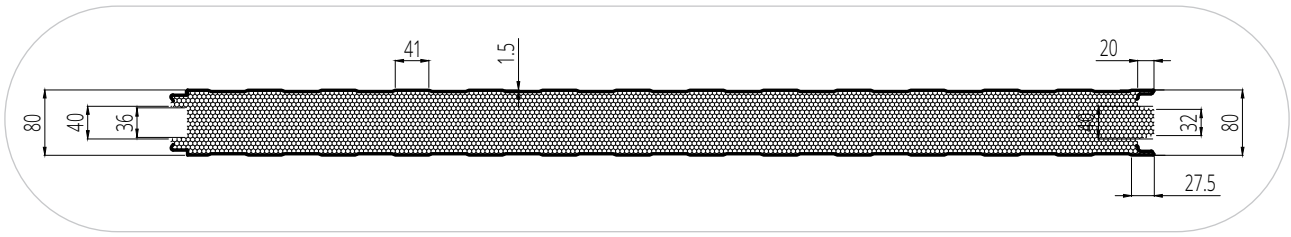
Геометрия стеновой сэндвич-панели со стандартным замковым соединением (ПСТ)

Рабочая ширина 1000 и 1190 мм.

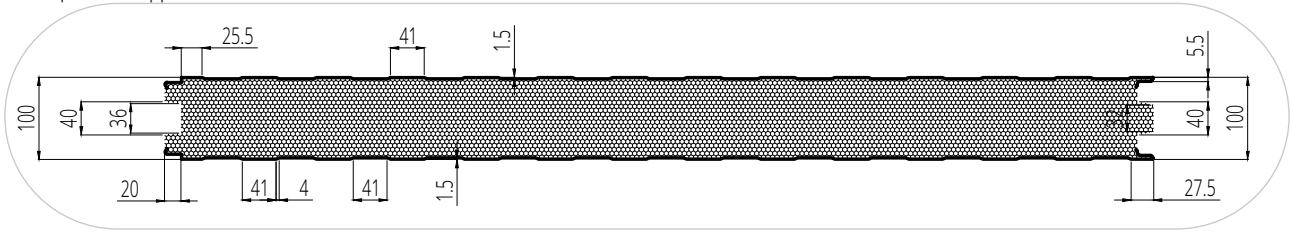
Толщина сэндвич-панели 50 мм



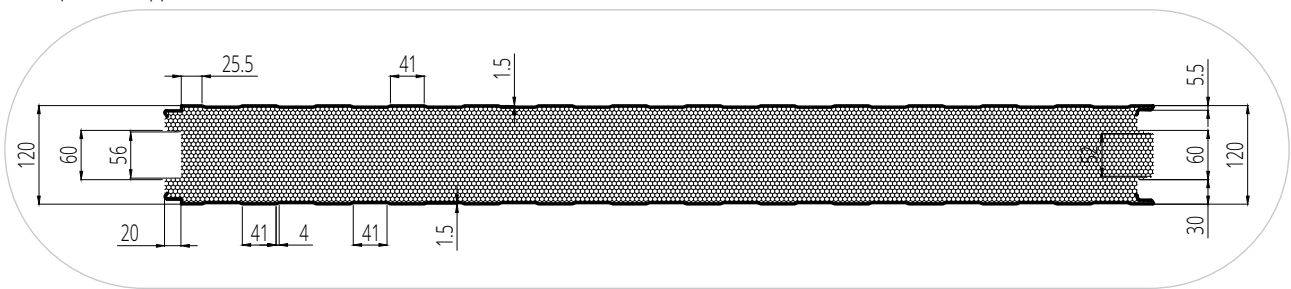
Толщина сэндвич-панели 80 мм



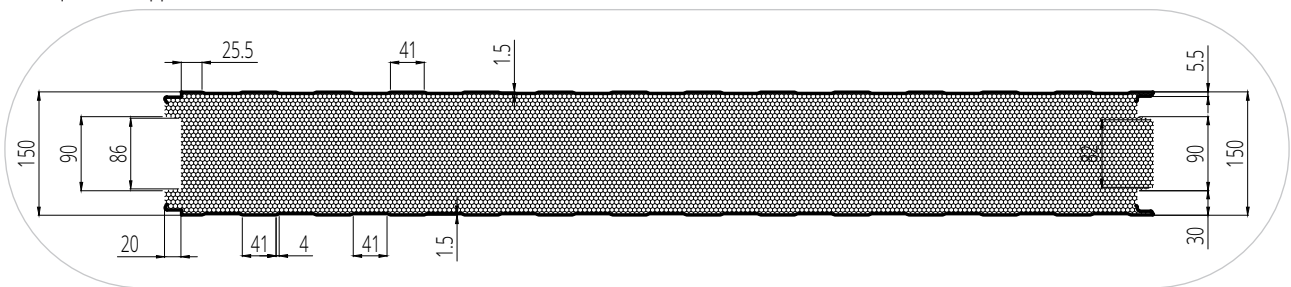
Толщина сэндвич-панели 100 мм



Толщина сэндвич-панели 120 мм



Толщина сэндвич-панели 150 мм



Толщина сэндвич-панели 200 мм

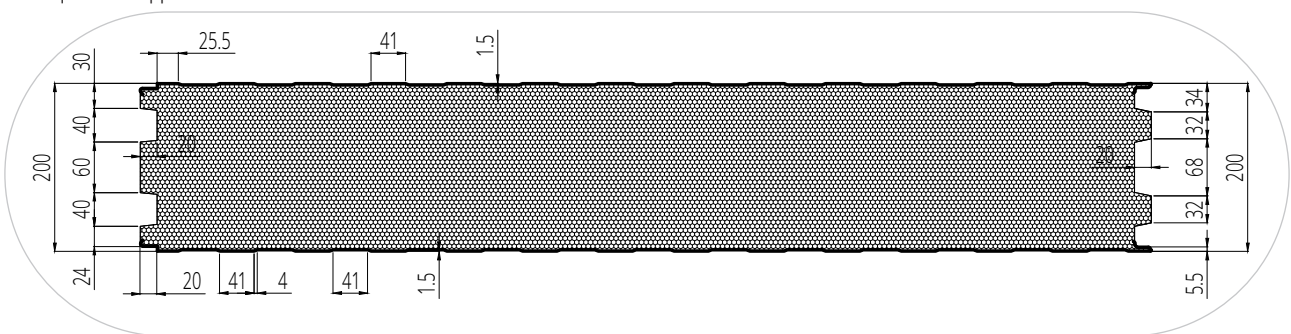






Рисунок 15.  
Геометрия стеновой сэндвич-панели с замковым соединением Z-Lock (ПСТ Z)



Рисунок 16.  
Стык стеновых панелей с замковым соединением Z-Lock

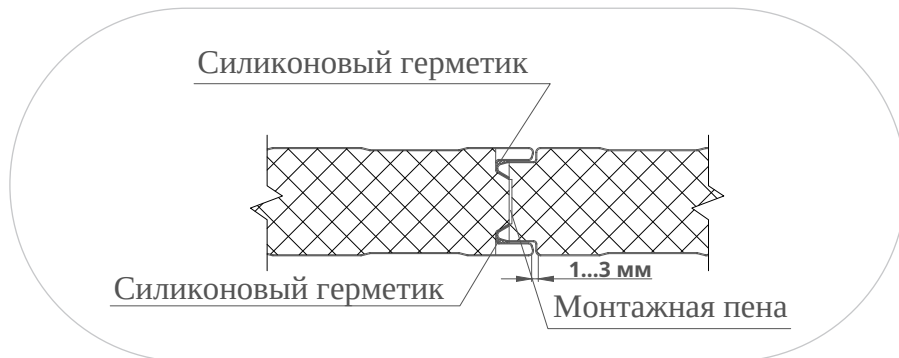
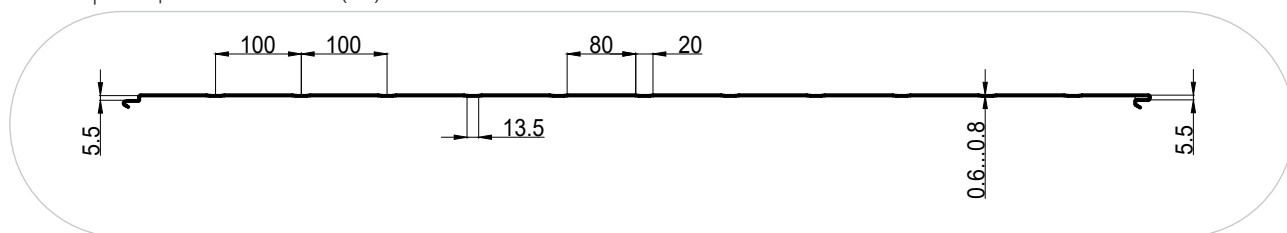
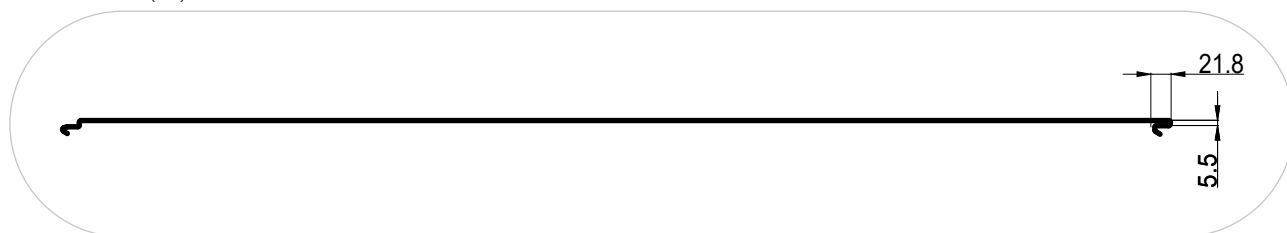


Рисунок 17.  
Виды профилировки внутренней стороны сэндвич-панелей ПСТ Z

Накат-трапеция с шагом 100 (Т1)



Без накатки (Гл)



Стандартная накатка «ПрофХолода» (РН)

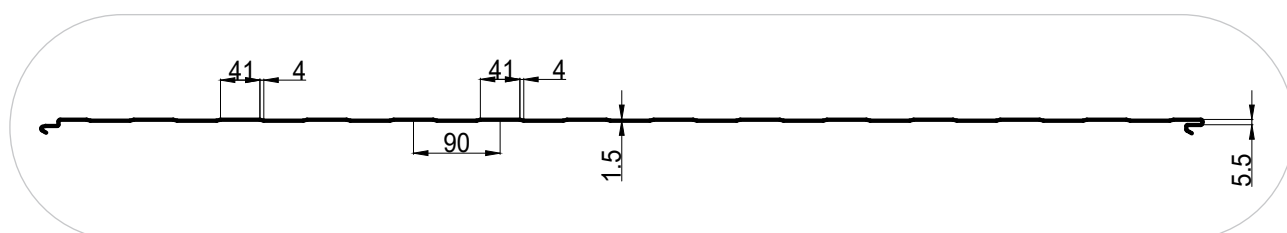
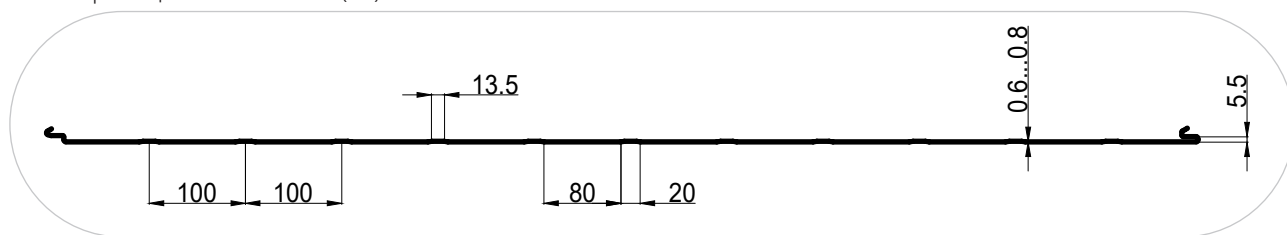
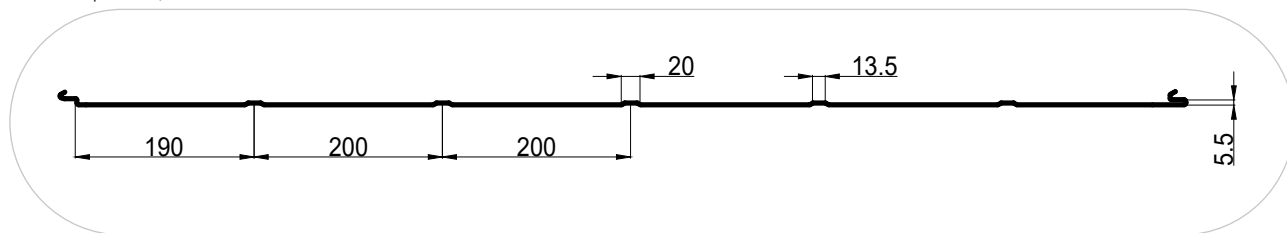


Рисунок 18.  
Виды профилировки наружной стороны сэндвич-панелей ПСТ Z

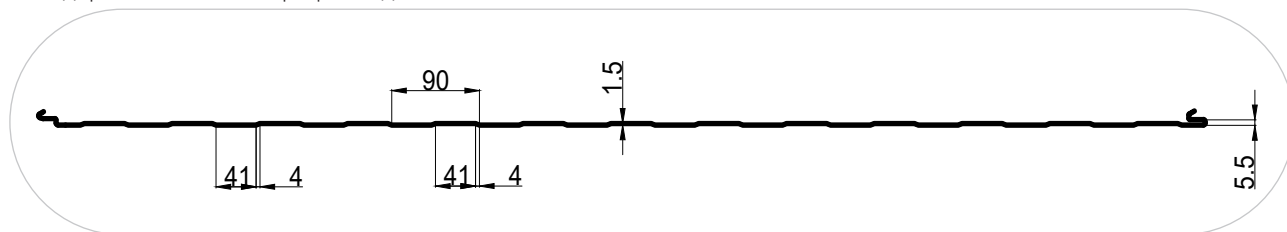
Накат-трапеция с шагом 100 (Т1)



Накат-трапеция с шагом 200 (Т2)



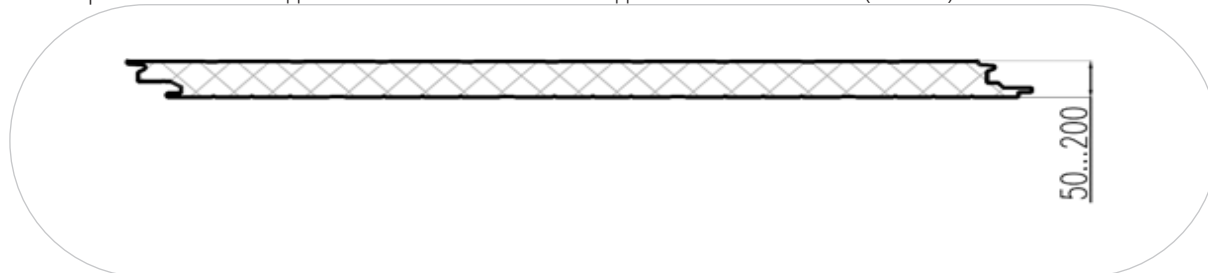
Стандартная накатка «ПроФХолода» (PH)



Без накатки (Гл)



Рисунок 19.  
Геометрия стеновой сэндвич-панели с замковым соединением SECRET FIX (ПСТ SF).



Формы стыковочных замков надежно соединяют металлический лист с полиуретановым сердечником благодаря тому, что в «пазовой» части край металлического листа пронизывает средний слой.

Такая конструкция стыковочного замка значительно снижает риски повреждения панели при транспортировке и монтаже. В стеновые панели, которые производятся на периодических линиях, по требованию заказчика устанавливаются стягивающие «эксцентрик» замки вдоль всей длины для более плотного стягивания панелей между собой при монтаже.

Рисунок 20.  
Эксцентровые замки в панелях PUR ПСТ



Рисунок 21.  
Геометрия кровельной сэндвич-панели со стандартным замковым соединением

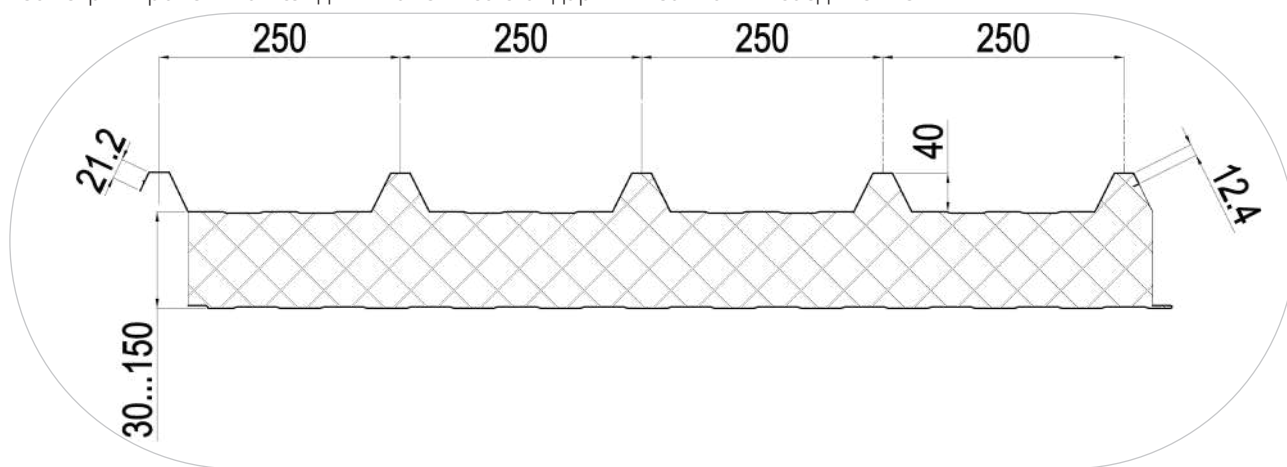


Рисунок 22.  
Стык кровельных панелей со стандартным замковым соединением. Для обеспечения лучшего прилегания панелей к прогонам в местах соединений панелей рекомендуется производить крепление саморезов через кровельный держатель.

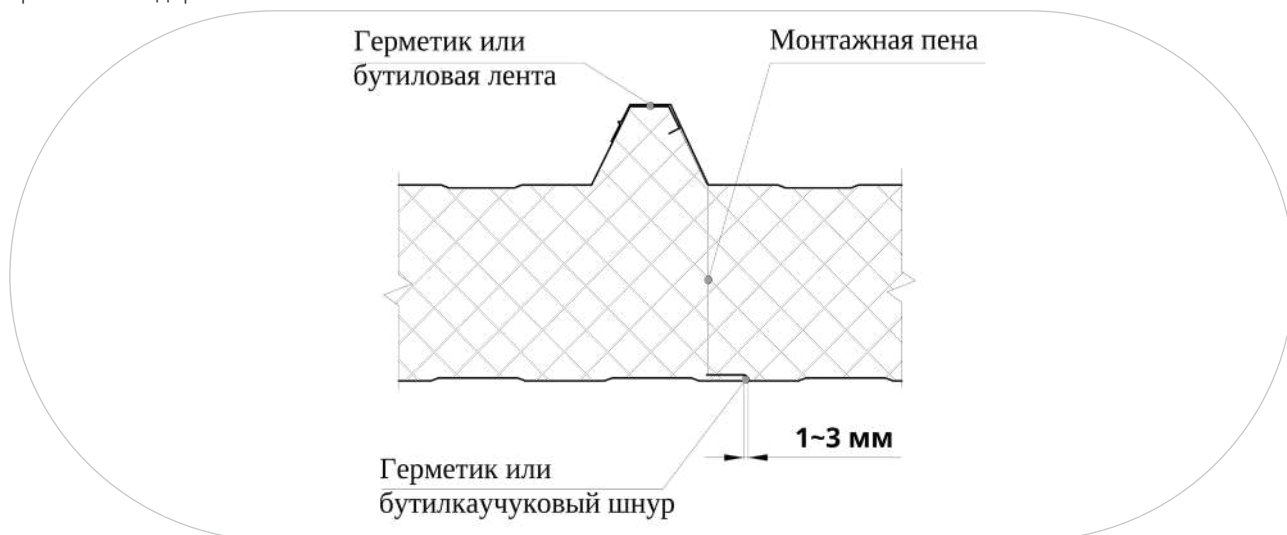
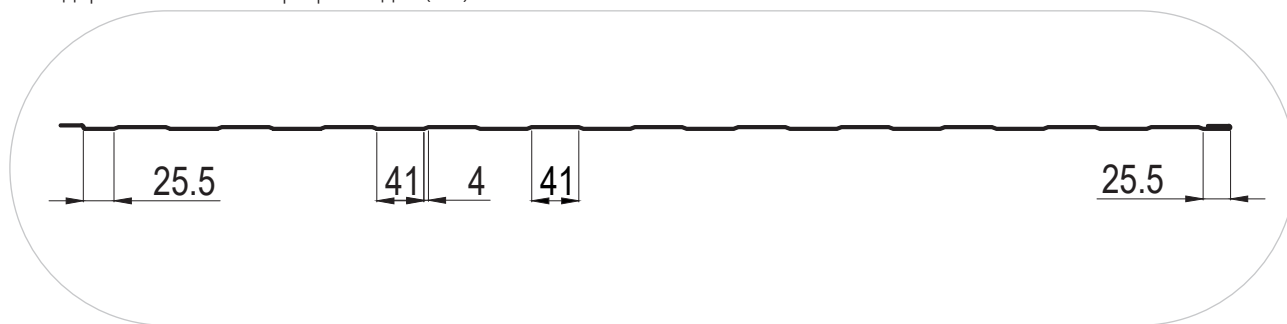


Рисунок 23.  
 Виды профилировки внутренней стороны сэндвич-панелей ПКТ.  
 Стандартная накатка «ПрофХолода» (РН)



Без накатки



Рисунок 24.  
 Вид профилировки наружной стороны сэндвич-панелей ПКТ

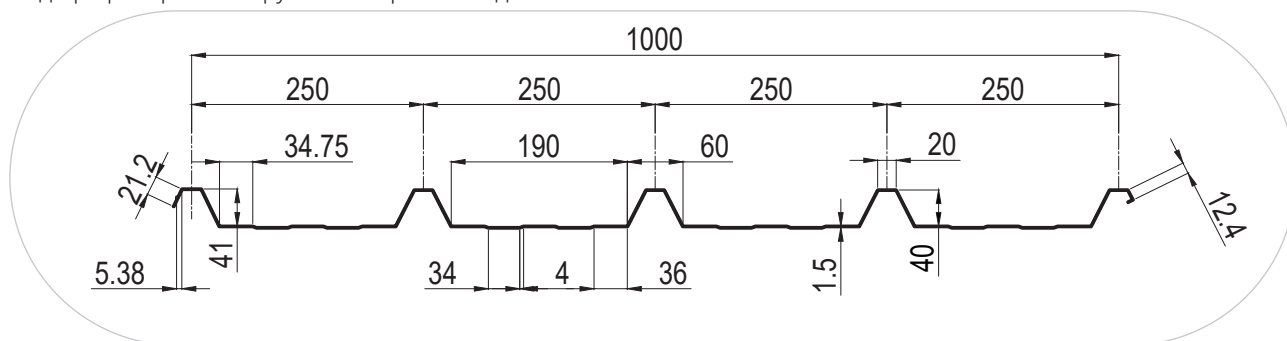


Рисунок 25.  
 Геометрия кровельной сэндвич-панели с замковым соединением типа Z-Lock (ПКТ Z)



Рисунок 26.

Стык кровельных сэндвич-панелей с замковым соединением Z-Lock. Для обеспечения лучшего прилегания панелей к прогонам в местах соединений панелей рекомендуется производить крепление саморезов через кровельный держатель.

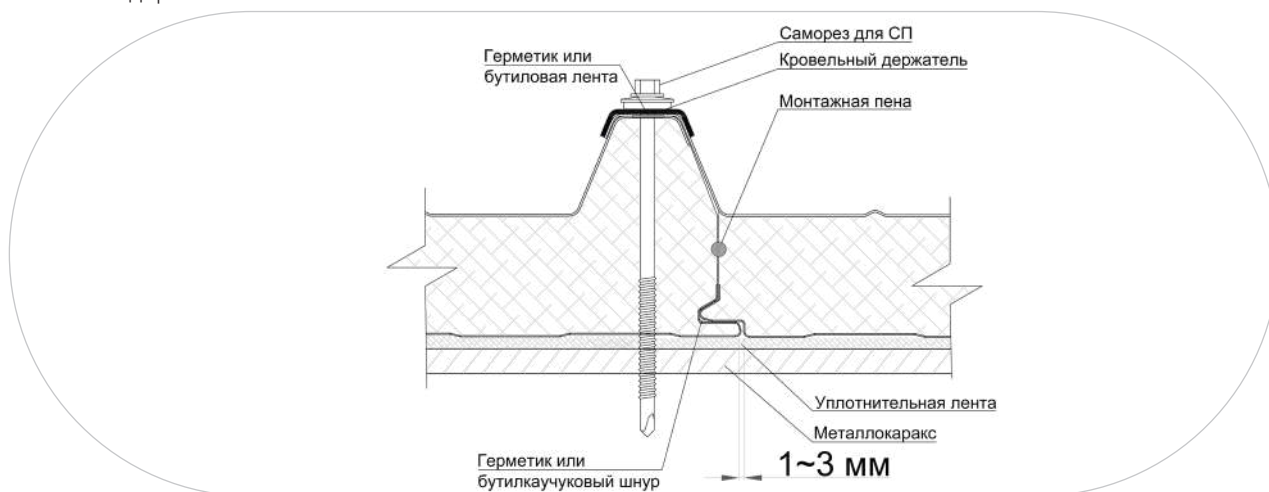
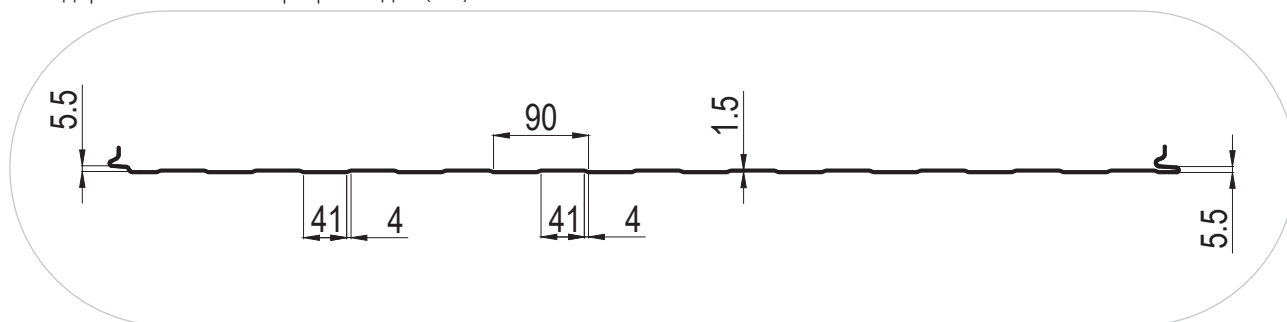


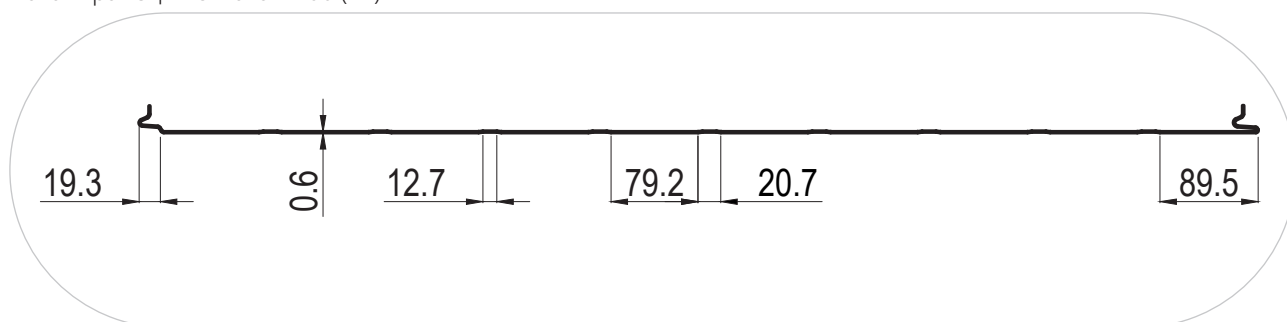
Рисунок 27.

Виды профилировки внутренней стороны сэндвич-панелей ПКТ Z

Стандартная накатка «ПрофХолода» (PH)



Накат-трапеция с шагом 100 (T1)



Без накатки (Гл)



Рисунок 28.  
Вид профилировки наружной стороны сэндвич-панелей ПКТ Z

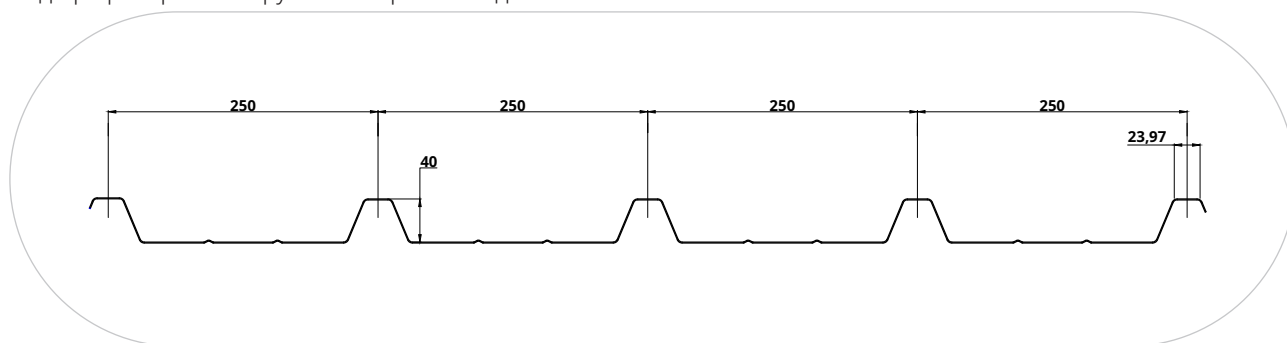


Таблица 30.  
Основные цвета палитры RAL, в которые окрашиваются панели

Название цвета	Условное обозначение по шкале RAL CLASSIC
Кремовый, слоновая кость	RAL 1014
Бежевый, светлая слоновая кость	RAL 1015
Синий насыщенный, синий сигнальный	RAL 5005
Газонная трава, зеленый, зеленый лист	RAL 6002
Зеленый мох, зеленый темный	RAL 6005
Серый, серый сигнальный	RAL 7004
Светло серый	RAL 7035
Коричневый темный, шоколадный	RAL 8017
Белая ночь, бело-серый, дымка	RAL 9002
Белый, белый сигнальный	RAL 9003
Алюминий светлый, снежная королева	RAL 9006

По желанию заказчика также могут быть использованы другие цвета палитры RAL

# ГЛАВА 5. ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ С ПАНЕЛЯМИ. РЕЗКА ПАНЕЛЕЙ. ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ

## §5.1 РЕЗКА ПАНЕЛЕЙ

Сэндвич-панели с PIR или PUR необходимо подрезать только электрическим лобзиком или циркулярной пилой со специальным режущим диском для сэндвич-панелей. Только в этом случае гарантируется ровная линия отреза без больших зазубрин (см. фотография 4, 5). Резку панелей производят перед снятием защитной полиэтиленовой пленки.

Категорически запрещено резать панели при помощи углошлифовальной машинки!

## §5.2 УПАКОВКА, ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

### УПАКОВКА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

Металлические поверхности сэндвич-панелей «ПрофХолод» защищены полиэтиленовой пленкой 35—50 мкм, которая удаляется после монтажа панелей.

Внимание! Удаление пленки до монтажа может привести к повреждению панелей. Пленку рекомендуется удалить сразу после монтажа или не позднее трех месяцев с момента производства панели. Удаление пленки после трех месяцев с даты производства затруднительно и может привести к нарушению внешнего вида покрытия сэндвич-панелей.

Панели укладывают в пачку высотой до 1200 мм. Количество панелей в пачке зависит от толщины и типа панелей.

При упаковке используются листы картона, которые защищают от трения при транспортировке.

Каждая пачка снабжается упаковочным листом с указанием номера заказа, количества, размера, марки и общего веса панелей.

### УПАКОВКА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ С PIR PREMIER

Углы упаковки защищены вертикальными металлическими уголками.

Для пачек с кровельными панелями на углах дополнительно установлены картонные уголки, которые защищают от трения при транспортировке.

Пачку обматывают стретч-пленкой с фиксацией верхнего слоя пленки. Перехлест пленки в слое 35—40%.

Пачку устанавливают на полистирольные бруски из плотного пенопласта толщиной 8 см и плотностью от 35 кг/м<sup>3</sup>. Количество брусков зависит от длины панелей.

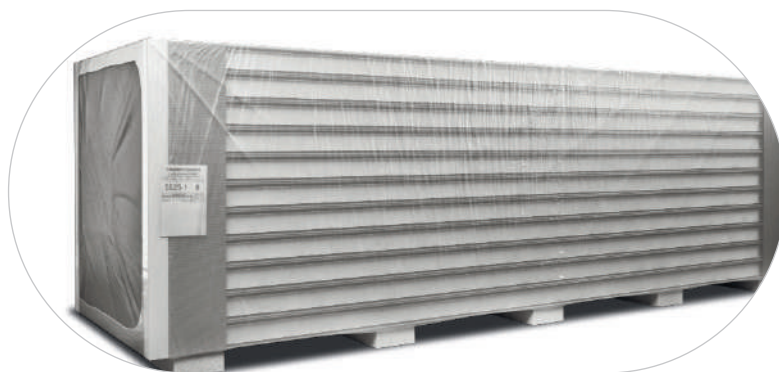
### УПАКОВКА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ С PUR CLASSIC

В местах контакта упаковочной ленты с краями замка под ленту устанавливают пластиковые или картонные уголки, которые защищают от трения при транспортировке.

Углы упаковки защищены вертикальными металлическими уголками.

Пачку обматывают стретч-пленкой и устанавливают на полистирольные бруски из плотного пенопласта толщиной 8 см и плотностью от 35 кг/м<sup>3</sup>. Количество брусков зависит от длины панелей.

Фотография 2.  
Упаковка стеновых сэндвич-панелей,



Фотография 3  
Упаковка кровельных сэндвич-панелей.



## ТРАНСПОРТИРОВКА

### Общие рекомендации

«ПрофХолод» доставит продукцию собственного производства в любую точку России или за рубеж автомобильным, железнодорожным или морским транспортом.

Закажите доставку у нас — специфика наших грузов требует тщательного подхода к выбору транспорта и ответственных перевозчиков. Мы подберем профессиональных перевозчиков по оптимальной цене через онлайн-аукционы, чтобы доставить ваш заказ в целости и сохранности и максимально быстро.

Если вы забираете сэндвич-панели самостоятельно, ранее выясните у перевозчика, нет ли в его автотранспорте самодельных конструкций (крюков, уголков и т.д.), которые могут сократить площадь кузова или повредить сэндвич-панели при транспортировке.

Погрузка сэндвич-панелей в автомобиль осуществляется сбоку с двух сторон. Поэтому с обеих сторон кузова фуры должны располагаться сдвижные стойки.

Внутренние габариты евро-фуры должны соответствовать следующим требованиям:  
13600 X 2450 X 2600 мм (длина X ширина X высота).

Если у автомобиля габариты меньше даже на 2–3 см, сэндвич-панели могут не войти в кузов и придется заказывать новый транспорт. Поэтому необходимо удостовериться, что перевозчик понимает важность указания точных габаритов.

Площадка кузова должна быть чистой, ровной и без посторонних предметов.

Уточните в транспортной компании, установлен ли в кузове фуры конник для перевозки крупногабаритных и длинномерных материалов, например, труб или бревен. Конник уменьшает полезную площадь кузова — сэндвич-панели могут не поместиться, хотя габариты автомобиля соответствуют требованиям для перевозки панелей.

У водителя должны иметься крепежные ремни: от 6 до 10 штук. «ПрофХолод» не продает и не сдает в аренду крепежные ремни.

Во время транспортировки необходимо проверять стабильность груза и плотность связки. Если связки ослабли, их необходимо вновь затянуть. При наличии в заказе фасонных элементов они не должны соприкасаться с поверхностью панелей при транспортировке.

Запрещается устанавливать на поверхность пачек другие грузы.

### ВЫБОР ТРАНСПОРТА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ

Для перевозки вам чаще всего понадобится автотранспорт: автомобили с открытой площадкой, бортовые



или тентованные фуры. Обратите внимания, что не все автомобили подходят для перевозки сэндвич-панелей или холодильных дверей.

Подходящие автомобили:

1. Фура с открытой площадкой

Подходит для транспортировки на близкие расстояния.

Мы настоятельно не рекомендуем отправлять открытые машины на расстояния более чем 700 км.

Упаковка может повредиться из-за встречного ветра и осадков.

2. Фура с бортами (бортовая)

3. Еврофура со шторой или тентом

## КОНТЕЙНЕРЫ

Контейнеры бывают 20-футовые, 40-футовые стандартные и 40-футовые высокие. Если вы планируете отправлять продукцию «ПрофХолода» контейнером, заранее сообщите об этом менеджеру вашего проекта и внимательно отнеситесь к внутренним размерам контейнера.

Некоторые фуры НЕ подходят для перевозки панелей или холодильных дверей.

«ПрофХолод» обращает ваше внимание, что из-за конструктивных особенностей некоторый автотранспорт не подходит для погрузки сэндвич-панелей или холодильных дверей. Если вы пришлете такую фуру, мы физически не сможем загрузить в нее нашу продукцию. Поэтому рекомендуем заранее согласовывать тип автомобиля с менеджером вашего проекта.

Фура с гидробортом устроена таким образом, что погрузчик не может подъехать и корректно загрузить или разгрузить пачку сэндвич-панелей.

В фуру, у которой остаются стойки сбоку, невозможно загрузить панели. Панели загружаются через боковой борт – стойки будут мешать.

Если у автомобиля стойки несъемные, несдвижные типа «мешок», в него также невозможно загрузить пачку сэндвич-панелей или холодильные двери, не повредив их.

## ВЫБОР ПОДРЯДЧИКА

На рынке грузоперевозок встречаются недобросовестные партнеры, поэтому убедитесь, что вы заключили контракт с надежной транспортной компанией.

Проверьте ее учредительные документы, запросите отчетность по налогам, проверьте сообщения о компании в открытых источниках.

Не рекомендуем привлекать компании, срок регистрации которых менее одного года и юридический адрес которых является местом массовой регистрации.

## ХРАНЕНИЕ

Складевать сэндвич-панели можно только на ровной поверхности с уклоном не более 5%.

Пачки укладываются максимум в два яруса так, чтобы верхняя пачка не выступала за габариты нижней.

Суммарная высота стопки не должна превышать 2,4 м. Нижняя пачка должна быть уложена на деревянные прокладки толщиной не менее 10 см, расположенные с шагом не более 1 м.

Панели следует хранить в заводской упаковке, обеспечивающей защиту от атмосферных воздействий, с соблюдением установленных мер противопожарной безопасности не более 2 месяцев с момента производства.

Допускается кратковременное, не более 1 мес., хранение под открытым небом при условии сохранности заводской упаковки и защиты транспортного пакета от попадания на верхнюю панель прямых солнечных лучей. Рекомендуется укрыть пакеты брезентом таким образом, чтобы была возможность достаточного проветривания пакетов.

Во время промежуточного хранения на открытых площадках панели следует защищать от прямых солнечных лучей, пыли и атмосферных осадков. Для предупреждения скапливания воды на поверхности упаковки в случае дождя необходимо обеспечить небольшой уклон пачки.

Запрещается

- устанавливать на пачки другие грузы
- укладывать второй ярус со смещением относительно нижней пачки
- ходить по панелям
- поднимать упаковку панелей за один край

Таблица 31.

Количество полных упаковок стеновых панелей с рабочей шириной 1190 мм в стандартной фуре с габаритными внутренними размерами кузова 13,4 x 2,45 x 2,6 м

толщина панелей	кол-во панелей в упаковке	Высота упаковки	16 упаковок длиной 3 м	12 упаковок длиной 4 м	8 упаковок длиной 5 м	8 упаковок длиной 6 м	4 упаковок длиной 8 м
мм	шт	м	площадь, м <sup>2</sup>	площадь, м <sup>2</sup>	площадь, м <sup>2</sup>	площадь, м <sup>2</sup>	площадь, м <sup>2</sup>
40	18	0,8	1024	1024	853	1024	683
50	18	0,98	1024	1024	853	1024	683
60	18	1,16	1024	1024	853	1024	683
80	14	1,2	796	796	664	796	531
100	11	1,18	626	626	521	626	417
120	9	1,16	512	512	427	512	341
140	8	1,2	455	455	379	455	303
150	7	1,13	398	398	332	398	265

Таблица 32.

Количество полных упаковок кровельных панелей с рабочей шириной 1000 мм в стандартной фуре с габаритными внутренними размерами кузова 13,4 x 2,45 x 2,6 м

толщина панелей, мм	панели длиной 3 м			панели длиной 4 м		
	количество панелей в пачке	высота упаковки, мм	количество пачек в фуре	количество панелей в пачке	высота упаковки, мм	количество пачек в фуре
30	21/22	1150/1180	16	21/22	1150/1180	12
40	17/18	1120/1160		17/18	1120/1160	
50	14/15	106/11500		14/15	1060/1150	
60	13/14	1140/1200		13/14	1140/1200	
80	10/11	1080/1200		10/11	1080/1200	
100	8/9	1040/1180		8/9	1040/1180	
120	7/8	1080/1200		7/8	1080/1200	
150	6/7	1100/1290		6/7	1100/1290	

Таблица 33.

Количество полных упаковок кровельных панелей с рабочей шириной 1000 мм в стандартной фуре с габаритными внутренними размерами кузова 13,4 x 2,45 x 2,6 м

толщина панелей, мм	панели длиной 6 м			панели длиной 8 м		
	количество панелей в пачке	высота упаковки, мм	количество пачек в фуре	количество панелей в пачке	высота упаковки, мм	количество пачек в фуре
30	21/22	1150/1180	8	13/14	750/780	6
40	17/18	1120/1160		11/1/2	760/800	
50	14/15	1060/1150		14/15	1060/1150	
60	13/14	1140/1200		13/14	1140/1200	
80	10/11	1080/1200		10/11	1080/1200	4
100	8/9	1040/1180		8/9	1040/1180	
120	7/8	1080/1200		7/8	1080/1200	
150	6/7	1100/1290		6/7	1100/1290	

Фотография 4.

Сэндвич-панели в заводской упаковке

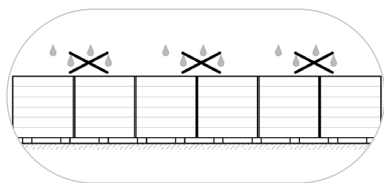


В таблице 34 приведено количество стеновых и кровельных панелей в упакованной пачке в зависимости от их толщины и ориентировочная масса погонного метра панелей в упаковке.

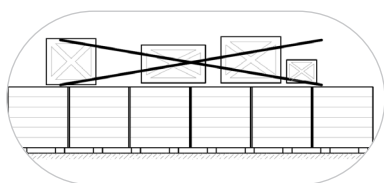
Таблица 34. Стандартная заводская упаковка панелей «ПрофХолод» с пенополиуретаном

Тип	Толщина панелей, мм	Количество в пачке, шт.	Высота упакованной пачки, мм	Масса упаковки в расчете на погонный метр, кг
Стеновые панели шириной 1190 мм	40	28	1210	328
	50	22	1190	268
	60	18	1170	228
	80	14	1210	191
	100	11	1190	161
	120	9	1170	140
	140	8	1210	132
	150	7	1140	119
	160	7	1210	122
	180	6	1170	111
Кровельные панели шириной 1000 мм	200	5	1090	97
	30	22	1190	191
	40	18	1170	198
	60	14	1210	165
	80	10	1090	126
	120	8	1290	151
	150	6	1050	107

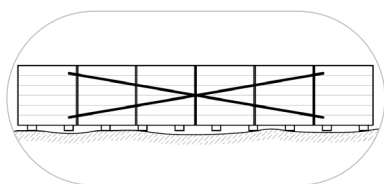
Таблица 35.  
Основные рекомендации по хранению сэндвич-панелей



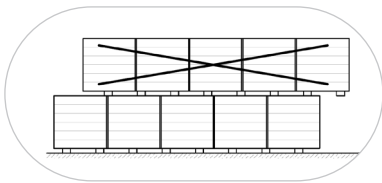
Предохранять панели от контакта с влагой.  
Контролировать целостность упаковки



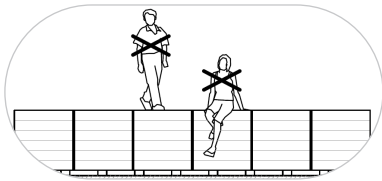
Не складировать предметы на поверхности панелей



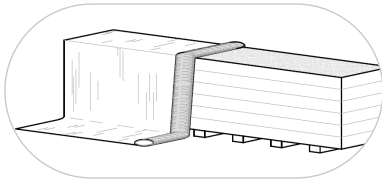
Хранить панели только на ровной поверхности



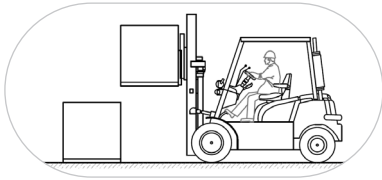
Не укладывать упаковки панелей в два яруса со смещением



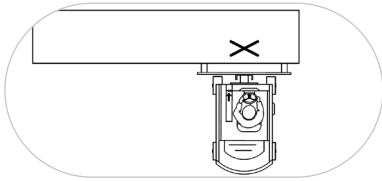
Не ходить по панелям



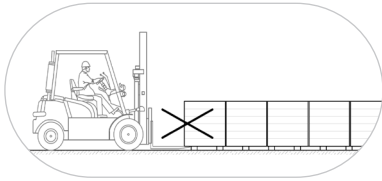
При длительном хранении защищать панели от воздействия прямых солнечных лучей



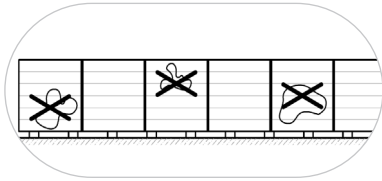
Поднимать упаковки панелей строго по одной



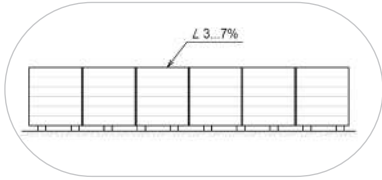
Не поднимать за один край



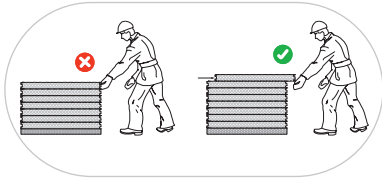
Не передвигать панели толчками



Не допускать загрязнения панелей



Размещать панели под небольшим углом в продольном направлении



Не поднимать панели за замок облицовки

# ГЛАВА 6. БЕСКАРКАСНЫЕ КАМЕРЫ ИЗ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

## §6.1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Сэндвич-панели обладают самонесущими свойствами, что позволяет строить из них бескаркасные холодильные или морозильные камеры.

Холодильные и морозильные камеры — это сборные конструкции из сэндвич-панелей и фасонных элементов, предназначенные для поддержания заданной температуры в замкнутом объеме.

Холодильные камеры бывают сборно-разборными или стационарными.

Сборно-разборные холодильные и морозильные камеры собираются из сэндвич-панелей со встроенными эксцентриковыми замками, стягивающими панели друг с другом. Такие камеры просто монтировать, они подходят для установки практически в любом месте и при необходимости могут быть быстро разобраны и перенесены.



Рисунок 29.  
Стационарная холодильная камера из трехслойных панелей

Камера строится из стеновых панелей, панелей для пола и потолочных. Панели дополняются фасонными элементами из металла того же типа и цвета, что и обшивка панелей. Панели для пола необходимо усиливать листами фанеры или «Квинтета», так как сэндвич-панели не предназначены, чтобы выдерживать постоянную пешеходную нагрузку или проезд погрузчиков, тележек.

По запросу к укомплектованной камере прилагаются расходные материалы: как крепежные саморезы для фасонных элементов, анкерные болты, силиконовый герметик и монтажная пена.

## §6.2 ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПОРЯДОК СБОРКИ

Холодильные камеры из сэндвич-панелей и фасонных элементов, которые произведены из оцинкованной стали толщиной 0,5 мм, представляют собой самонесущие конструкции и при правильной сборке гарантируют термоизоляцию, что значительно снижает эксплуатационные расходы на охлаждение. Холодильные и морозильные камеры такого типа отвечают гигиеническим требованиям по хранению пищевых продуктов.

На рисунке 34 приведено схематическое изображение камеры на фасонных элементах с указанием трех ее основных узлов.

Комплект сэндвич-панелей и фасонных элементов для сборки подобной камеры поставляется вместе с подробным сборочным чертежом и упаковочным листом.

Прежде чем приступать к сборке, необходимо проверить комплектность всех панелей и сопутствующих элементов, подготовить место для ее установки.

Рисунок 30.  
Схематическое изображение холодильной камеры  
I. узел стыковки панелей для пола и стеновых сэндвич-панелей  
II. узел стыковки стеновых панелей  
III. узел стыковки потолочных и стеновых панелей

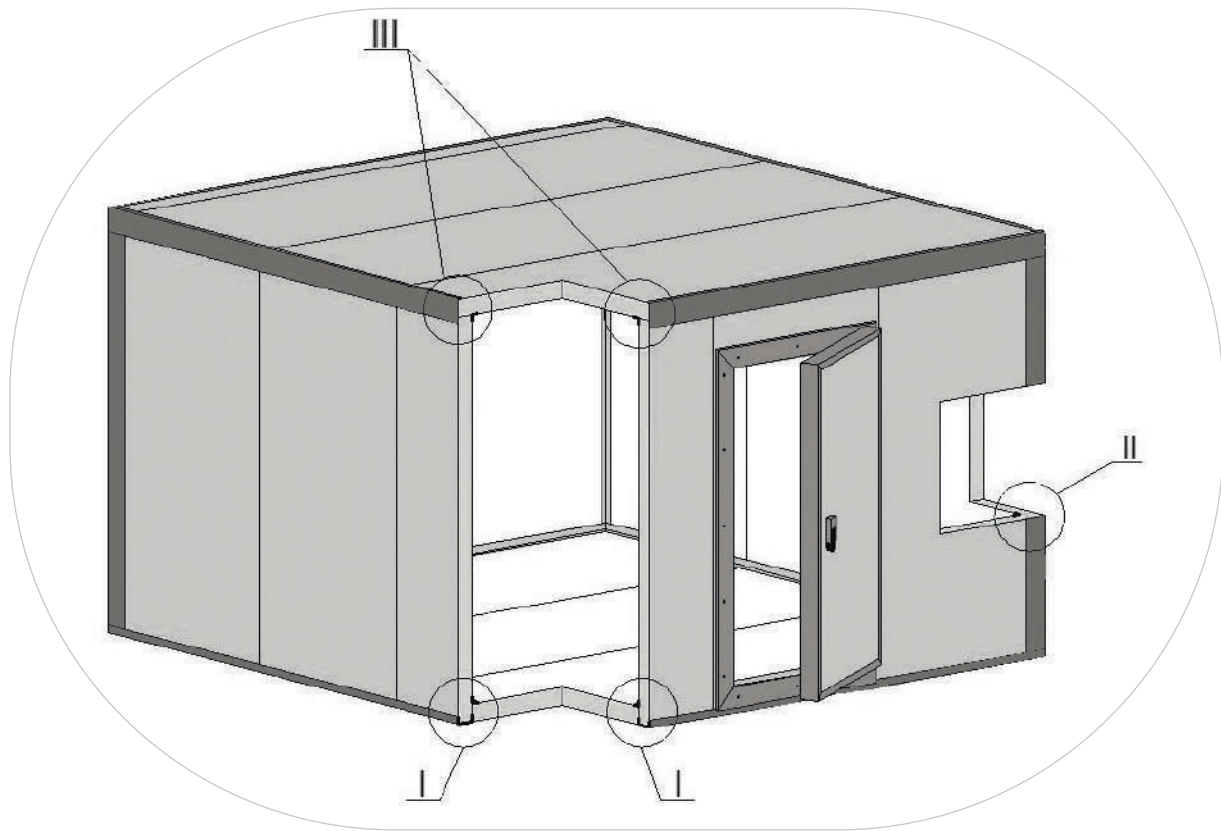
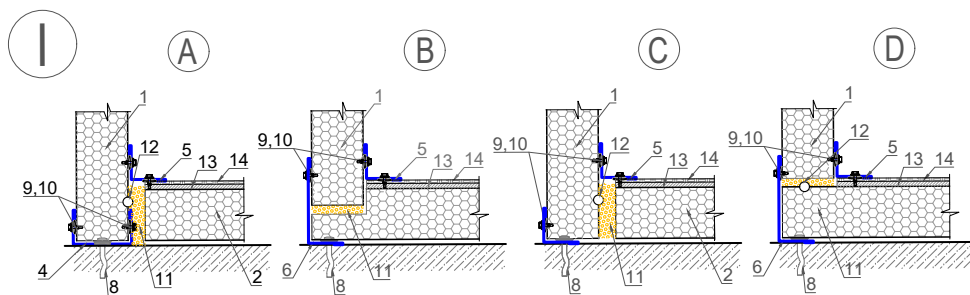


Рисунок 31.

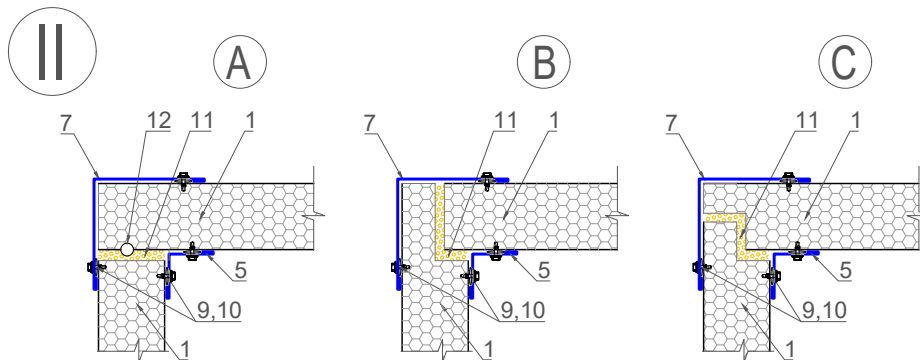
Основные узлы стыковки сэндвич-панелей для сборки холодильных камер (начало)

- |  |  |
|--|--|
| 1. стеновая панель                             | 8. анкер-клин с шагом 450 мм                                       |
| 2. половая панель                              | 9. саморезы для крепления фасонных элементов с шагом 200–300 мм    |
| 3. потолочная панель                           | 10. герметик универсальный   |
| 4. направляющая (швеллер) для стеновых панелей | 11. монтажная пена   |
| 5. внутренний уголок, 40–40 мм                 | 12. разрез металла для предотвращения возникновения мостика холода |
| 6. уголок наружный неравнополочный             | 13. усиление пола (фанера влагостойкая)                            |
| 7. уголок наружный равнополочный               | 14. усиление пола (металлический лист типа «Квинтет»)              |

Варианты крепления стеновых и половых панелей



Варианты крепления стеновых панелей в углах камеры



Варианты крепления стеновых и потолочных панелей

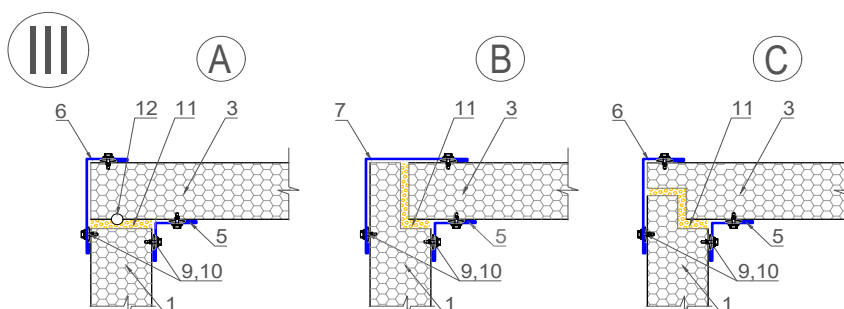


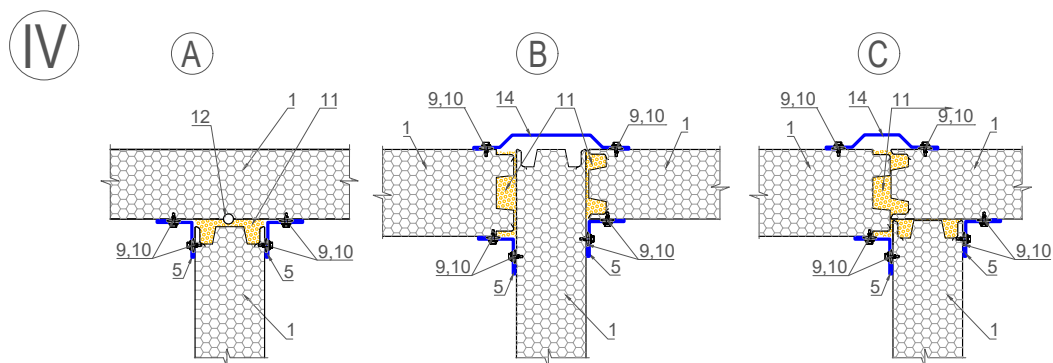


Рисунок 32.

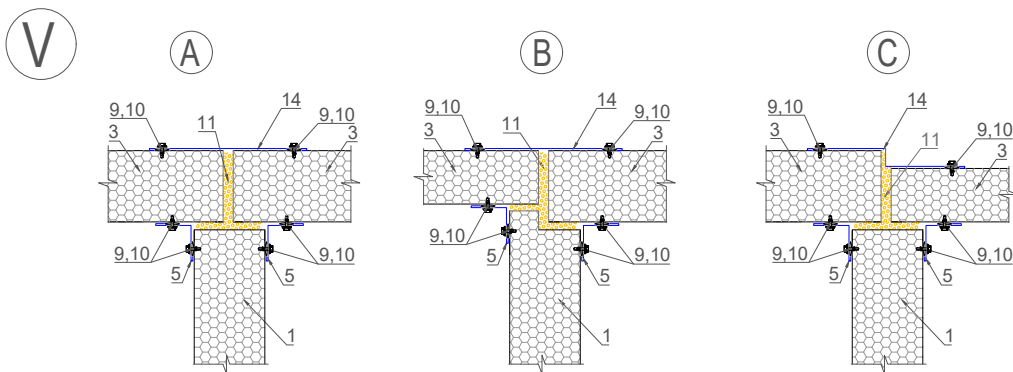
Основные узлы стыковки сэндвич-панелей для сборки холодильных камер (окончание)

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1. стеновая панель</li> <li>2. половая панель</li> <li>3. потолочная панель</li> <li>4. направляющая (швеллер) для стеновых панелей</li> <li>5. внутренний уголок, 40–40 мм</li> <li>6. уголок наружный неравнополочный</li> <li>7. уголок наружный равнополочный</li> <li>8. анкер-клин с шагом 450 мм</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>9. саморезы для крепления фасонных элементов с шагом 200–300 мм</li> <li>10. герметик универсальный</li> <li>11. монтажная пена</li> <li>12. разрез металла для предотвращения возникновения мостика холода.</li> <li>13. сэндвич-панель перегородки</li> <li>14. нащельник</li> <li>15. усиление пола (фанера влагостойкая)</li> <li>16. усиление пола (металлический лист типа «Квинтет»)</li> </ul> |
|---|---|

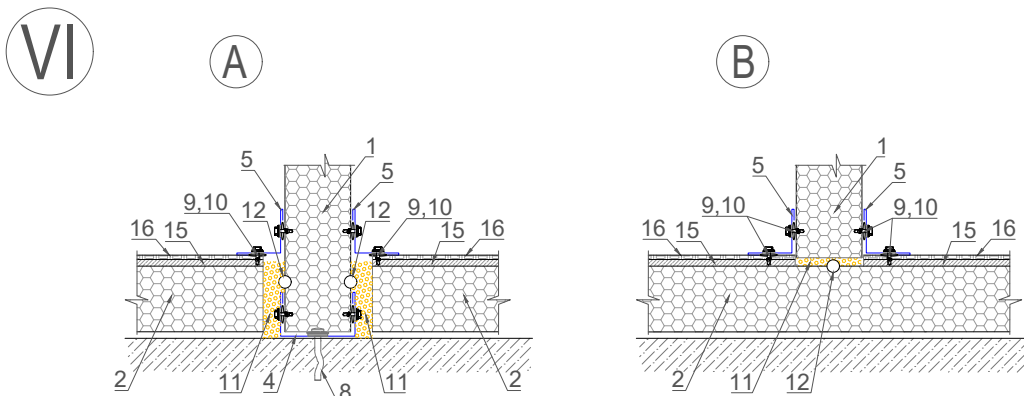
Варианты крепления стеновых панелей к перегородочным



Варианты крепления перегородочных панелей к потолочным



Варианты крепления перегородочных панелей к половым



По периметру камеры к заранее выровненному полу с помощью анкеров прибиваются направляющие для стеновых панелей.

Существует несколько вариантов стыковки половых и стеновых панелей с бетонным полом.

Варианты I (B, C и D) предпочтительнее использовать в холодильных камерах небольшого размера, так как они заведомо исключают возникновение мостов холода, в то время как металлические направляющие требуют особого способа монтажа панелей с разрывом мостика холода по металлу,

Для этого на внутренней металлической поверхности стеновой панели делают разрез, прерывающий мост холода. В камерах, сооружаемых с использованием панелей для пола, рекомендуется разрезать внутренний лист металлической обшивки стеновых панелей на уровне чуть выше направляющей так, чтобы линия разреза находилась не выше поверхности половых панелей. Затем панели укладывают согласно прилагаемому чертежу, начиная с произвольного угла камеры или с дверного проема, если в комплект входит панель с дверным проемом.

Варианты стыковки стеновых панелей в углах камеры показаны на рисунках 31

II, A-C. Стеновые панели укладывают таким образом, чтобы «шип» каждой из них был ориентирован в направлении укладки панелей. При этом на замок типа «паз» предварительно наносят небольшое количество монтажной пены, после чего панель устанавливают в направляющую, прижимая к другой, уже установленной, панели.

Панели плотно стягивают и фиксируют в направляющей с помощью саморезов. В процессе укладки нужно следить за тем, чтобы стеновые панели располагались вертикально. По окончании сборки камеры все швы типа «шип-паз» герметизируют санитарным силиконовым герметиком.

Резку панелей осуществляют электрическим лобзиком или циркулярной пилой со специальным режущим диском. Дверной проем также вырезают электрическим лобзиком и обрамляют специальным П-образным элементом, выполненным из двух металлических уголков и стыковочного пластикового профиля.

Рисунок 33-1.

Профиль для обрамления светового проема в панели

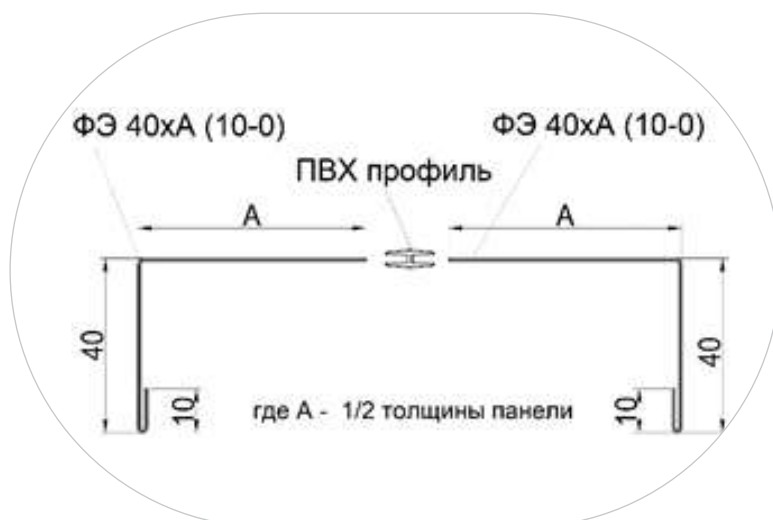


Рисунок 33-2.

Профиль для обрамления светового проема в панели



При монтаже сэндвич-панелей на пол необходимо учитывать сторону панелей, лицевой стороной вверх. Лицевая сторона промаркирована на панелях. Панели для пола и потолка должны точно соответствовать одному из поперечных размеров камеры (внешнему или внутреннему) либо по длине, либо по ширине. Вариант укладки указывается на сборочном чертеже. Вертикальные углы камеры заделывают металлическими уголками, обычно совпадающими по цвету с наружной поверхностью стеновых панелей.

Размер плеч вертикальных наружных уголков на 40 мм толще стеновых панелей, что позволяет при любом варианте монтажа замаскировать открытый торец панели. Уголки крепят к панелям самонарезающими винтами или заклепками. Для скрепления потолочных панелей со стеновыми используют горизонтальные уголки.

Камера может иметь несколько отсеков, разделенных перегородками. Чтобы сэкономить на строительстве, разные отсеки сооружают из панелей разной толщины. Например, низкотемпературный отсек может быть выполнен из панелей толщиной 100 мм, а находящаяся рядом с ним среднетемпературная камера — из панелей толщиной 80 мм. Такая ситуация приводит к ряду неудобств при монтаже. В этом случае необходимо определиться, что приоритетнее: сохранить наружную высоту или внутреннюю.

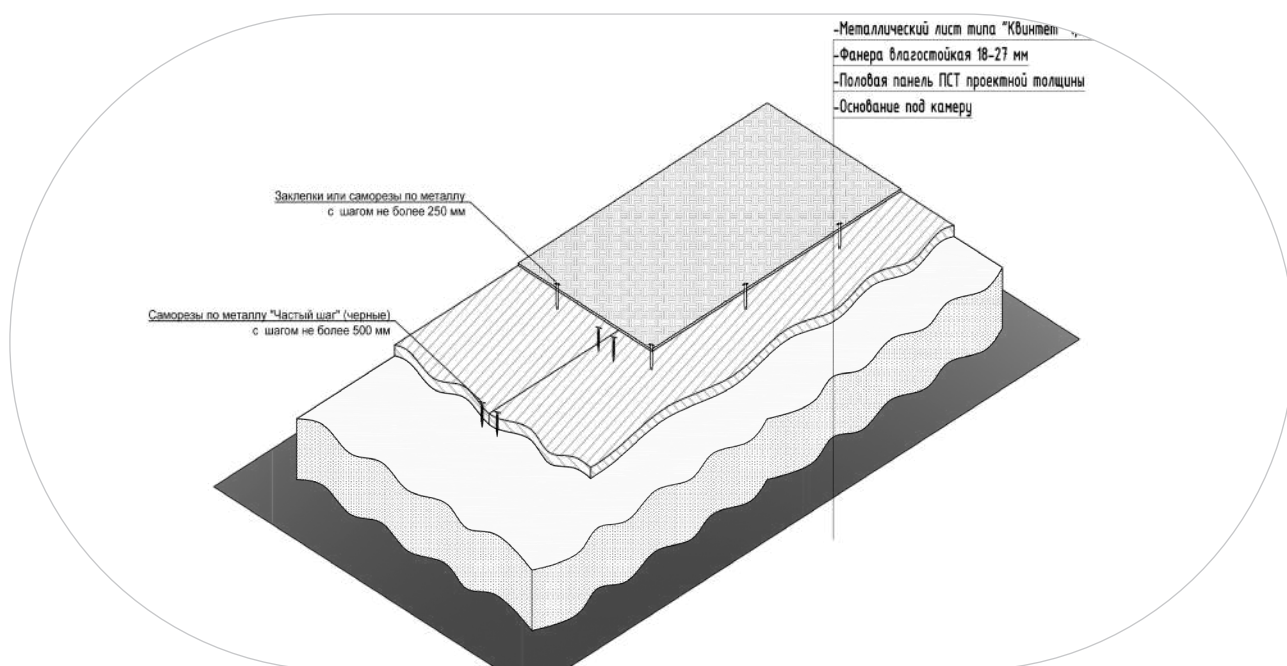
Все внутренние углы камеры заделывают металлическими уголками 40-40 мм, как показано на чертежах.

Панели для пола необходимо усиливать листами фанеры металлическими листами типа «Квинтет» толщиной 1,5–4 мм, уложенными на влагостойкую фанеру толщиной 18-27 мм (многослойное усиление). Допускается использовать однослойное усиление пола, только металлические листы типа «Квинтет» или влагостойкую фанеру. Способы установки см. рисунок 34.

Эксплуатация сэндвич-панелей на полу без усиления запрещена!

Рисунок 34.

Узел усиления половых панелей.



Размеры бескаркасной камеры ограничивает несущая способность стеновых и потолочных или кровельных панелей и предполагаемое положение камеры.

Для камер с поперечными размерами более 6000 мм и высотой более 4000 мм «ПрофХолод» настоятельно рекомендует возводить каркас из металлоконструкций.

Рисунок 35.  
Структура листа «Квинтет»  
для усиления пола



При установке камеры в помещении необходимо соблюдать следующие требования:

- Помещение должно быть сухим и хорошо вентилируемым
- Рекомендуемое соотношение объемов камеры и помещения должно составлять не менее 1:3,5. Если указанное соотношение не выполняется, помещение следует оборудовать системой приточно-вытяжной вентиляции. Несоблюдение этого требования ведет к нарушению режима охлаждения и, соответственно, к увеличению расхода электроэнергии
- Камеру следует устанавливать на расстоянии не менее 0,1 м от стен и 0,6 м от потолка. Ширина прохода к холодильной машине должна составлять минимум 0,7 м. Камера не должна подвергаться воздействию прямых солнечных лучей и находиться ближе, чем в 1,5 м от источников тепла
- Пол в помещении должен быть выровнен в горизонтальной плоскости так, чтобы его шероховатость не превышала 2 мм. Допускается уклон пола не более 1%.

Несоответствующие приведенным требованиям неровность и уклон пола в месте установки камеры вызывают смещение панелей относительно друг друга, что влечет за собой ее разгерметизацию, а значит, и увеличение расхода энергии.

При установке под навесом на открытом воздухе камеры размещают на ровных бетонных или асфальтобетонных площадках. Допустимая высота неровностей на поверхности такой площадки не должна превышать 3 мм, а уклон пола в продольном и поперечном направлениях — 1,5%. Также необходимо учитывать и ветровые и снеговые нагрузки, зависящие от конкретного региона, и деформацию панелей из-за разности температур на листах их обшивки. При сооружении камеры на открытом воздухе с использованием потолочных панелей следует обеспечить 100% герметизацию потолка при помощи гидроизоляционных материалов, так как потолочные панели не могут служить в качестве кровли, однако при надежной гидроизоляции вполне способны выполнять ее функции.

### §6.3 ФАСОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ СБОРКИ ХОЛОДИЛЬНЫХ КАМЕР

Рисунок 36.  
Направляющая (швеллер) для панелей

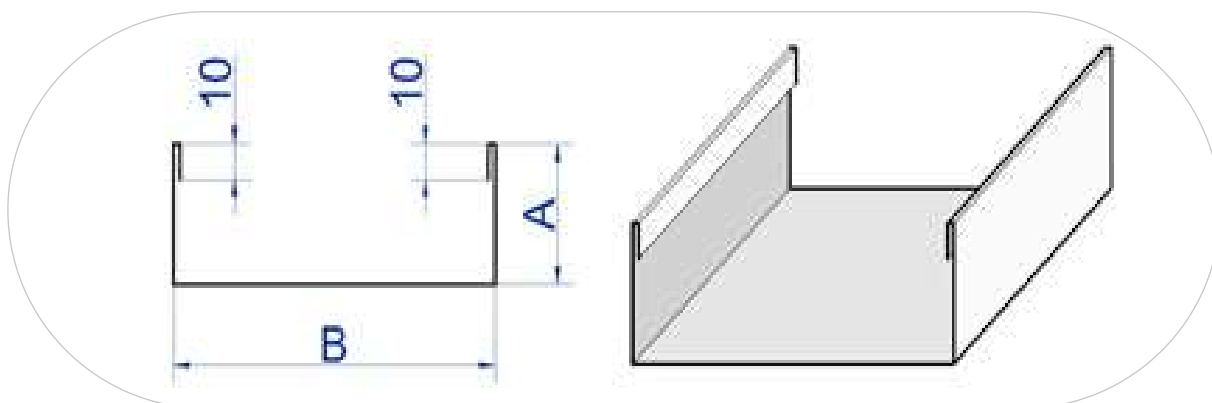


Таблица 36.  
Направляющая (швеллер) для панелей

А,мм	В,мм	Обозначение	Масса в расчете на погонный метр, кг
40	42	Ш 40x42x40 Zn-0,45 (10-10)	0,50
	52	Ш 40x52x40 Zn-0,45 (10-10)	0,54
	62	Ш 40x62x40 Zn-0,45 (10-10)	0,57
	82	Ш 40x82x40 Zn-0,45 (10-10)	0,64
	102	Ш 40x102x40 Zn-0,45 (10-10)	0,71
	122	Ш 40x122x40 Zn-0,45 (10-10)	0,78
	142	Ш 40x142x40 Zn-0,45 (10-10)	0,85
	152	Ш 40x152x40 Zn-0,45 (10-10)	0,89
	162	Ш 40x162x40 Zn-0,45 (10-10)	0,93
	182	Ш 40x182x40 Zn-0,45 (10-10)	0,99
	202	Ш 40x202x40 Zn-0,45 (10-10)	1,07
	50	42	Ш 50x42x50 Zn-0,45 (10-10)
52		Ш 50x52x50 Zn-0,45 (10-10)	0,61
62		Ш 50x62x50 Zn-0,45 (10-10)	0,64
82		Ш 50x82x50 Zn-0,45 (10-10)	0,71
102		Ш 50x102x50 Zn-0,45 (10-10)	0,78
122		Ш 50x122x50 Zn-0,45 (10-10)	0,85
142		Ш 50x142x50 Zn-0,45 (10-10)	0,89
152		Ш 50x152x50 Zn-0,45 (10-10)	0,93
162		Ш 50x162x50 Zn-0,45 (10-10)	0,99
182		Ш 50x182x50 Zn-0,45 (10-10)	1,07
202		Ш 50x202x50 Zn-0,45 (10-10)	1,13

Рисунок 37.  
Равносторонние уголки (плоские)

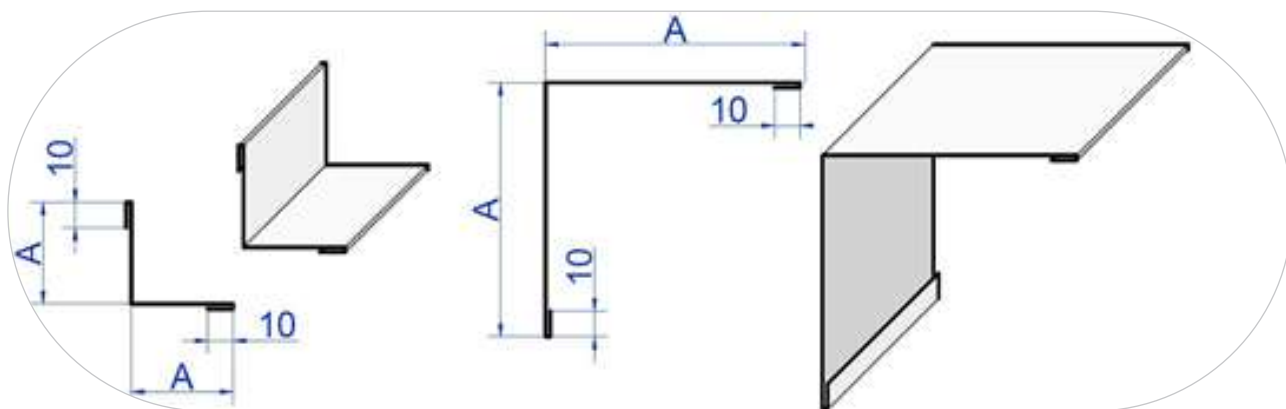


Таблица 37.  
Равносторонние уголки (плоские)

А, мм	Обозначение (УВ — внутренний, УН — наружный)	Масса в расчете на погонный метр, кг
40	УВ (УН) 40x40 Zn-0,45 (10-10)	0,35
60	УВ (УН) 60x60 Zn-0,45 (10-10)	0,49
80	УВ (УН) 80x80 Zn-0,45 (10-10)	0,64
100	УВ (УН) 100x100 Zn-0,45 (10-10)	0,77
120	УВ (УН) 120x120 Zn-0,45 (10-10)	0,92
140	УВ (УН) 140x140 Zn-0,45 (10-10)	1,05
160	УВ (УН) 160x160 Zn-0,45 (10-10)	1,20
180	УВ (УН) 180x180 Zn-0,45 (10-10)	1,34
200	УВ (УН) 200x200 Zn-0,45 (10-10)	1,48
220	УВ (УН) 220x220 Zn-0,45 (10-10)	1,62
240	УВ (УН) 240x240 Zn-0,45 (10-10)	1,77

Рисунок 38.  
Плоский нащельник

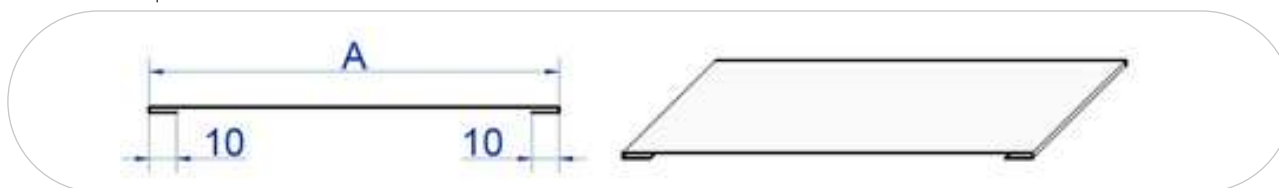


Таблица 38.  
Плоский нащельник

А, мм	Обозначение	Масса в расчете на погонный метр, кг
40	Н 40 Zn-0,45 (10-10)	0,21
60	Н 60 Zn-0,45 (10-10)	0,28
80	Н 80 Zn-0,45 (10-10)	0,35
100	Н 100 Zn-0,45 (10-10)	0,42
120	Н 120 Zn-0,45 (10-10)	0,49
140	Н 140 Zn-0,45 (10-10)	0,56
150	Н 150 Zn-0,45 (10-10)	0,60
160	Н 160 Zn-0,45 (10-10)	0,64
180	Н 180 Zn-0,45 (10-10)	0,70
200	Н 200 Zn-0,45 (10-10)	0,77

Рисунок 39.  
Уголки неравносторонние (для стыков потолочных и стеновых панелей)

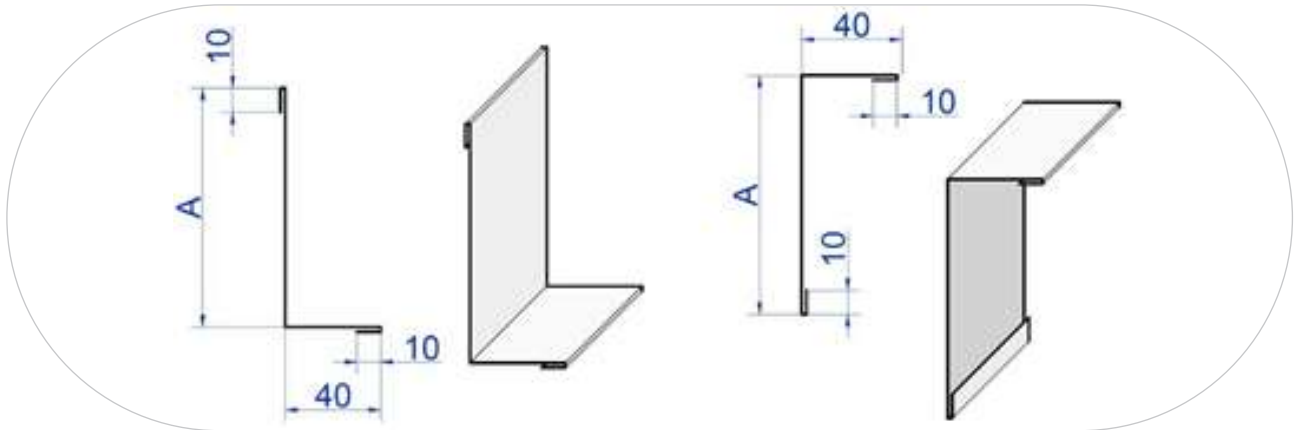


Таблица 39.  
Уголки неравносторонние для стыков потолочных и стеновых панелей

A, мм	Обозначение. Уголок внутренний/наружный	Масса в расчете на погонный метр, кг
60	УВ (УН) 40x60 Zn-0,45 (10-10)	0,42
80	УВ (УН) 40x80 Zn-0,45 (10-10)	0,49
100	УВ (УН) 40x100 Zn-0,45 (10-10)	0,56
120	УВ (УН) 40x120 Zn-0,45 (10-10)	0,66
140	УВ (УН) 40x140 Zn-0,45 (10-10)	0,70
160	УВ (УН) 40x160 Zn-0,45 (10-10)	0,78
180	УВ (УН) 40x180 Zn-0,45 (10-10)	0,85
190	УВ (УН) 40x190 Zn-0,45 (10-10)	0,88
200	УВ (УН) 40x200 Zn-0,45 (10-10)	0,92
220	УВ (УН) 40x220 Zn-0,45 (10-10)	0,99
240	УВ (УН) 40x240 Zn-0,45 (10-10)	1,06

Рисунок 40.  
Фигурный нащельник

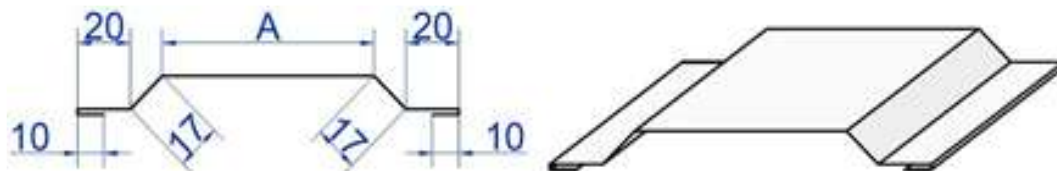


Таблица 40.  
Фигурный нащельник

А, мм	Обозначение	Масса в расчете на погонный метр, кг
40	Н 20x17x40x17x20 10-10	0,47
60	Н 20x17x60x17x20 10-10	0,54
80	Н 20x17x80x17x20 10-10	0,61
100	Н 20x17x100x17x20 10-10	0,69
120	Н 20x17x120x17x20 10-10	0,76
140	Н 20x17x140x17x20 10-10	0,83
160	Н 20x17x160x17x20 10-10	0,90
180	Н 20x17x180x17x20 10-10	0,97
200	Н 20x17x200x17x20 10-10	1,04
220	Н 20x17x220x17x20 10-10	1,11

#### §6.4 УТЕПЛЕНИЕ СТЕН ПОМЕЩЕНИЯ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЯМИ

Если вы строите холодильную или морозильную камеру в помещении с бетонными или кирпичными стенами, то на теплоизоляционные свойства камеры будут влиять не только сэндвич-панели, но и кирпичная или бетонная стена, которая соприкасается с панелью. Более того, иногда между сэндвич-панелями и кирпичом или бетоном есть прослойка воздуха, которую также необходимо предусмотреть в расчете теплоизоляционных свойств камеры и при выборе толщины сэндвич-панелей.

Если панели толщиной  $\delta_1$  и термическим сопротивлением  $R_1$  плотно прилегают к стене толщиной  $\delta$  и теплопроводностью  $\alpha$ , то для общего термического сопротивления составного слоя, образованного панелями и стеной помещения, имеем:

$$R_{\text{общ}} = \frac{\delta}{\alpha} + R_1 \quad (39)$$

Из этого соотношения видно, что если мы утепляем, например, кирпичную стену толщиной 450 мм, коэффициент теплопроводности кирпича равен 0,37 Вт/(м\*К), то

$$R_{\text{общ}} = 1,22 + R_1 \quad (40)$$

Принимая во внимание, что коэффициент теплопроводности ППУ составляет 0,022 Вт/(м\*К), дополнительная изоляция в виде кирпичной стены позволяет выбрать панели, толщина которых на 25 мм меньше той, что нужна для отдельно стоящей камеры. Однако следует помнить, что этот вывод справедлив, только если панели очень плотно прилегают к кирпичной стене, иначе возможны потери холода и промерзание пространства между кирпичной стеной и панелями, которое может привести к повреждению панелей.

Для утепления стен и обустройства холодильных камер вы можете приобрести в «ПроФХолоде» «PIR Плину» ®: PIR Premier в обкладках из фольги. Применение «PIR Плины» ® значительно удешевляет конструкцию. Материал крепится к предварительно выровненным стенам специальными саморезами с антикоррозийной защитой, длина которых должна превышать толщину панелей минимум на 3 см.

#### §6.5 ВЫБОР ТОЛЩИНЫ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ КАМЕРЫ

Чтобы принять правильное решение, важно учитывать механические свойства панелей и термодинамические факторы, влияющие на функционирование бескаркасных камер.

Механические параметры, от которых зависит толщина панелей, включают:

- ветровые нагрузки на стены и потолок, если камера находится на открытом воздухе
- нагрузку потолочных панелей на стеновые, которая зависит от длины и толщины потолочных панелей
- избыточное давление, которое будет действовать на камеру снаружи при выходе из строя клапана выравнивания давления
- искривление или выпучивание панелей вследствие перепада температур на их наружной и внутренней стороне



- провисание потолочных панелей под собственным весом
- возможные нагрузки на потолочные панели в процессе монтажа.

К термодинамическим факторам относятся:

- температура внутри камеры
- температура за пределами камеры
- внутренний объем камеры
- материал и толщина строительных конструкций при их наличии
- тип продукции, которую планируется хранить в камере, суточный оборот продукции и т. д.

Расчет теплового баланса в холодильной камере — это отдельная задача, которую должны решать специалисты по теплотехнике. Однако предварительные выводы о целесообразности использования панелей определенной толщины можно сделать уже на основе достаточно простых рассуждений.

Очевидно, что чем толще панели, тем лучше теплоизоляция, поэтому нас прежде всего интересует целесообразность с экономической точки зрения. Принято считать, что для холодильной камеры оптимальна такая теплоизоляция, которая ограничивает тепловые потери до уровня 10 Вт/м<sup>2</sup> в час.

Эту величину также называют тепловой нагрузкой, или потерями холода, которые необходимо компенсировать для поддержания нужной температуры в камере. В таблице 41 приведены расчетные данные по тепловым потерям для панелей разной толщины в зависимости от разницы температур внутри и снаружи холодильной камеры. Указанные значения толщины панелей рекомендованы исключительно для холодильных камер и складов и не подходят для административных и хозяйственных построек.

Таблица 41.

Выбор толщины стенок холодильной камеры в зависимости от разницы температур внутри и снаружи камеры

Толщина панели, мм	40	50	60	80	100	120	140	150	160	180	200
10°C	5,30	4,20	3,50	2,60	2,10	1,70	1,50	1,40	1,30	1,20	1,00
15°C	7,90	6,30	5,25	3,90	3,15	2,55	2,25	2,10	1,95	1,80	1,50
20°C	10,50	8,40	7,00	5,20	4,20	3,40	3,00	2,80	2,60	2,40	2,00
25°C	13,10	10,50	8,75	6,50	5,25	4,25	3,75	3,50	3,25	3,00	2,50
30°C	15,80	12,60	10,50	7,80	6,30	5,10	4,50	4,20	3,90	3,60	3,00
35°C	18,40	14,70	12,25	9,10	7,35	5,95	5,25	4,90	4,55	4,20	3,50
40°C	21,00	16,80	14,00	10,40	8,40	6,80	6,00	5,60	5,20	4,80	4,00
45°C	23,60	18,90	15,75	11,70	9,45	7,60	6,75	6,30	5,85	5,40	4,50
50°C	26,30	21,00	17,50	13,00	10,50	8,50	7,50	7,00	6,50	6,00	5,00
55°C	28,90	23,10	19,25	14,30	11,55	9,35	8,25	7,70	7,15	6,60	5,50
60°C	31,50	25,20	21,00	15,60	12,60	10,20	9,00	8,40	7,80	7,20	6,00
65°C	34,10	27,30	22,75	16,90	13,65	11,05	9,75	9,10	8,45	7,80	6,50
70°C	36,80	29,40	24,50	18,20	14,70	11,90	10,50	9,80	9,10	8,40	7,00
75°C	39,40	31,50	26,20	19,50	15,70	12,70	11,25	10,50	9,75	9,00	7,50
80°C	42,00	33,60	28,00	20,80	16,80	13,60	12,00	11,20	10,40	9,60	8,00
85°C	44,60	35,70	29,80	22,10	17,90	14,50	12,80	11,90	11,00	10,20	8,50
90°C	47,30	37,80	31,50	23,40	19,00	15,40	13,70	12,70	11,80	10,90	9,00
95°C	49,90	39,90	33,30	24,70	20,10	16,30	14,60	13,60	12,70	11,80	9,50
	Оптимальная толщина панелей										
	Избыточная толщина панелей (пригодны к использованию)										
	Панели такой толщины не рекомендуются к использованию										

## §6.6 КЛАПАНЫ ВЫРАВНИВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Клапаны выравнивания давления необходимы для установки в низкотемпературных холодильных камерах. В процессе охлаждения воздух внутри низкотемпературных камер становится разреженным, что приводит к понижению давления. И если для небольших холодильных камер объемом в несколько десятков кубических метров, которые обладают приличной конструктивной жесткостью, понижение давления не создает серьезных проблем, то открывание дверей в крупногабаритных камерах, если двери достаточно герметичны, требует больших усилий в связи с перепадом давления. Результатом служат частые поломки ручек и запоров.

При этом в низкотемпературных холодильных камерах важно всегда использовать клапаны выравнивания давления с защитой от обмерзания, гарантирующие безотказную работу в любых условиях. Для надежности большие камеры снабжают несколькими такими клапанами.

Для выравнивания давления внутри низкотемпературных холодильных камер выпускаются металлические и силиконовые клапаны. Металлические клапаны работают на закрытие под действием силы тяжести, поэтому их устанавливают горизонтально, то есть в потолочных панелях холодильных камер, что не всегда удобно. Силиконовые клапаны выравнивания давления работают в вертикальном положении, что упрощает их монтаж и позволяет устанавливать их на боковых панелях.

Производительность клапанов выравнивания давления подбирают в соответствии с объемом камеры.

Фотография 9.

Клапан выравнивания давления КВД-4-60

Формула для расчета количества воздуха, требуемого для выравнивания внутреннего и внешнего давления:

$$Q = K \cdot V \cdot \Delta T \quad (41)$$

где  $Q$  — требуемое количество воздуха, л/мин;  $K = 3,66$  (константа);  $V$  — объем охлаждаемого помещения, м<sup>3</sup>;  $\Delta T$  — максимальное изменение температуры в охлаждаемом помещении, °С. Не путать с разницей температур внутри и снаружи камеры!



Отсутствие клапанов выравнивания давления может повлечь за собой серьезные повреждения всей конструкции. Монтируются клапаны выравнивания давления при помощи крепежных болтов, пространство между стеновой панелью и клапаном при этом герметизируется. Клапаны устанавливают поперек потока воздуха, поступающего из охладителей вблизи дверей. В камерах объемом до 120 м<sup>3</sup> клапаны должны располагаться на расстоянии минимум 30 см от потолка или пола, в камерах объемом до 600 м<sup>3</sup> — на расстоянии минимум 50 см. Запрещается загромождать клапаны и ограничивать проход воздуха через них. Декомпрессионные клапаны питаются от электросети 230 В.

**ВНИМАНИЕ!** Установка клапана в неправильном направлении может привести к его заморозке и выходу из строя.

## Библиография

- [1] Howard G. Allen. Analysis and design of structural sandwich panels, 1993.
- [2] Davies J. M. Lightweight sandwich construction, 2001.
- [3] Koschade Rolf. Construction with Factory Engineered Sandwich Panels, 2006.
- [4] Дехтяр А. Ш. Облегченные конструкции металлических стен промышленных зданий, 1979.
- [5] Лазутин М., Оттенс А., Келлер П. Тепловая изоляция из жесткого пенополиуретана: основные свойства и направления применения в строительстве, «Энергосбережение», 2002, №3.
- [6] Шильд Е., Кассельман Х.-Ф., Дамен Г., Поленц Р. Строительная физика, 1982.
- [7] Богословский В. Н. Строительная теплофизика, 1982.
- [8] EN 14509-2006: Self-supporting double skin metal faced insulating panels — Factorymade products — Specifications, 2006.
- [9] Штамм К., Витте Х. Многослойные конструкции, 1983.
- [10] DIAB Sandwich Handbook — DIAB Group.
- [11] Wiesinger Reinhard. Sandwich Pannels. Application Guide, 2009.

Copyright (c) 2020 ООО «ПрофХолод»

Технический каталог защищен авторскими правами ООО «ПрофХолод».

Технический каталог запрещается полностью или частично воспроизводить, тиражировать и распространять без разрешения ООО «ПрофХолод».