



СЭНДВИЧ-ПАНЕЛИ «ПРОФХОЛОД»

ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРАНИЦА

COPYRIGHT

Этот документ защищен авторскими правами © ООО «ПрофХолод» 2016 г.
Настоящий технический каталог не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ООО «ПрофХолод».

АВТОРЫ

Шарафян В. Р. (ПрофХолод)

Общая редакция, Главы 1-5.

Кириллова О. В. (ПрофХолод)

Иллюстрации к разделам: «Строительные узлы и фасонные элементы» и «Бескаркасные холодильные камеры».

Круликовская Р. Э. (ПрофХолод)

Иллюстрации к разделам: «Бескаркасные холодильные камеры».

Редькина В. В. (ПрофХолод)

3D-иллюстрации.

Орлик Е. А. (ПрофХолод)

Теплотехника.

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

Пожалуйста, все комментарии и замечания к данному документу присылайте по электронному адресу:
info@profholod.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Стеновые и кровельные сэндвич-панели. Теплофизические свойства сэндвич-панелей.....	1
§ 1.1 Основные сведения о сэндвич-панелях.....	1
§ 1.2 Производство сэндвич-панелей ППУ.....	2
§ 1.3 Средний слой панелей ППУ. Основные сведения о PUR Classic и PIR Premier.....	5
§ 1.4 Металлические листы для сэндвич-панелей.....	9
§ 1.5 Стеновые и кровельные сэндвич-панели производства ПрофХолод. Геометрические характеристики.....	11
§ 1.6 Обозначение стеновых и кровельных панелей ООО «ПрофХолод».....	13
§ 1.7 Основные цвета по каталогу RAL используемые в производстве.....	15
§ 1.8 Группы цветов - I-III.....	16
§ 1.9 Предельные геометрические отклонения для сэндвич-панели.....	18
§ 1.10 Теплофизические свойства сэндвич-панелей из ППУ (PUR/PIR). Теплопроводность, теплопередача и тепловое сопротивление.....	20
§ 1.11 Расчет коэффициента теплопередачи панели U и термического сопротивления R.....	23
§ 1.12 Сравнение теплоизоляционных свойств строительных материалов.....	25
§ 1.13 Теплоёмкость сэндвич-панелей.....	26
§ 1.14 «Мостики» холода и минимизация тепловых потерь.....	27
Глава 2. Влияние внешних нагрузок и разности температур на сэндвич-панели.....	31
§ 2.1 Деформация панелей из-за разности температур на её поверхностях.....	31
§ 2.2 Несущая способность стеновых панелей.....	32
§ 2.3 Разрушающее напряжение при поперечном изгибе.....	39
§ 2.4 Равномерно распределенная фронтальная нагрузка на вертикально закрепленную панель. Ветровые нагрузки на ограждения из сэндвич-панелей.....	41
§ 2.5 Несущая способность кровельных панелей.....	44
§ 2.6 Вертикальная нагрузка на стеновую сэндвич-панель.....	46
Глава 3. Правила обращения с сэндвич-панелями. Резка панелей. Транспортировка и хранение.....	49
§ 3.1 Резка панелей.....	49
§ 3.2 Упаковка, транспортировка и хранение сэндвич-панелей.....	49
Глава 4. Бескаркасные камеры из сэндвич-панелей.....	53
§ 4.1 Стационарные и сборно-разборные камеры из сэндвич-панелей. Основные понятия.....	53
§ 4.2 Холодильные камеры на фасонных элементах. Особенности конструкции и порядок сборки.....	54
§ 4.3 Фасонные элементы для сборки холодильных камер.....	59
§ 4.4 Утепление («обшивка») стен помещения сэндвич-панелями.....	62
§ 4.5 Выбор толщины панелей для холодильной камеры.....	62
§ 4.6 Клапаны выравнивания давления.....	65
Библиография.....	66

ГЛАВА 1. СТЕНОВЫЕ И КРОВЕЛЬНЫЕ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛИ. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ.

§ 1.1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЯХ.

За последние 50 лет сэндвич-панели получили достаточную известность в основном в качестве строительной ограждающей конструкции, применяемой при особо экономичном способе строительства зданий производственного назначения и оставались почти незамеченными большинством архитекторов и проектировщиков, несмотря на то, что обладали достаточно высоким потенциалом в плане архитектурного дизайна.

Сегодня ситуация меняется кардинальным образом. Если раньше сэндвич-панели использовались, как правило, при возведении холодильных складов и производственных и складских зданий, то сегодня они широко применяются в различных архитектурных проектах.

Более широкое распространение сэндвич-панели получили благодаря нескольким причинам. Во-первых, были разработаны строительные технологии с учетом новых достижений науки и техники. Во-вторых, энергетический кризис и возрастающая стоимость энергоносителей сделали актуальным применение материалов и конструкций с высокими теплоизоляционными свойствами. В-третьих, ведущие производители сэндвич-панелей на западе (в основном в Европе) значительно улучшили качество продукции, разработали новые конструктивные решения для применения сэндвич-панелей в строительстве и приспособили их к требованиям рынка. Все это не могло не привести к резкому увеличению количества проектировщиков и архитекторов, желающих использовать сэндвич-панели в своих проектах. В 2005 году Европейский комитет по стандартизации (European Committee for Standardization) разработал единый стандарт EN 14509-2005, регламентирующий производство и применение сэндвич-панелей в странах ЕС.

Стоит отметить также, что за эти 50 лет, в основном на западе, велись интенсивные научные исследования в области физических свойств многослойных структур, каковыми и являются, в частности, сэндвич-панели. В результате этих исследований был опубликован ряд основополагающих монографий по этой тематике, что также сыграло немаловажную роль в популяризации сэндвич-панелей. Отметим лишь некоторые из них [1], [2], [3]. В СССР также сэндвич-панели начали использоваться в основном в промышленном строительстве, и в 1979г. была издана книга «Облегченные конструкции металлических стен промышленных зданий» (автор Арон Шаевич Дехтяр) [4], в которой достаточно подробно рассматриваются сэндвич-панели со средним слоем из ППУ, применяемые к тому моменту как в западных странах так и в самом СССР. Из содержания этой книги можно сделать вывод, что все рекламируемые сегодня виды наполнителей для среднего слоя (в том числе и ПИР, о котором речь пойдет далее) и типы стыковок панелей с друг с другом к тому времени уже были разработаны и широко применялись в мире. В том же 1979 году в СССР был разработан государственный стандарт ГОСТ 23486-79 «Панели металлические трехслойные стеновые с утеплителем из пенополиуретана», регламентирующий производство и применение сэндвич-панелей ППУ на территории СССР. Надо сказать, что этот документ уже тогда значительно отставал от имеющейся практики не только развитых капиталистических стран, но и практики таких восточноевропейских стран, как Польша, Болгария и ГДР. И сегодня этот документ

является главным фактором, «тормозящим» широкое распространение сэндвич-панелей ППУ в России.

Сама по себе сэндвич-панель представляет собой достаточно простую конструкцию, в которой между двумя, как правило, металлическими слоями находится относительно толстый слой теплоизолирующего материала. При этом она обладает как достаточной жесткостью, так и хорошими теплоизолирующими свойствами.

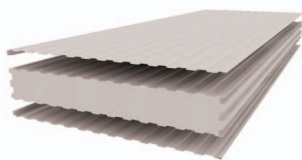


Рисунок 1: Конструкция сэндвич-панели.

Относительно толстый теплоизолирующий слой между двумя тонкими металлическими листами.

В качестве среднего слоя используются различные материалы с низкой теплопроводностью: минеральная вата, пенополистирол, стекловолокно, пенополиуретан и т.д. Однако, в последнее время наибольшую популярность в качестве материала среднего слоя панели, приобретает уже отмеченный нами пенополиуретан (ППУ или PUR Classic). Этот тип твердой пены получают путем смешивания двух жидких компонентов вместе со вспенивающим реагентом и некоторыми катализаторами, ускоряющими процесс затвердевания. Во время перемешивания происходит химическая реакция полимеризации и вспенивания, в результате которой смесь пенится и затвердевает.

Во время вспенивания смесь очень активна и прочно сцепляется с поверхностями, с которыми она вступает в контакт – этот процесс называется самоадгезией. В отличие от остальных материалов для среднего слоя панели, таких как минеральная вата, стекловолокно или пенополистирол, которые склеиваются с металлическими листами при помощи клея, ППУ формируется прямо в процессе производства панели в пространстве между двумя металлическими листами из жидких компонентов и слипание с металлическими листами происходит автоматически в результате самоадгезии.

Пропорции различных компонентов и добавок определяют свойства будущей пены: его плотность, жесткость и другие механические характеристики, а также время, необходимое для реакции полимеризации. Есть множество разнообразных рецептов, некоторые из которых разработаны самими производителями панелей опытным путем и являются предметом коммерческой тайны.

Помимо прочего, коэффициент теплопроводности ППУ гораздо ниже коэффициента теплопроводности перечисленных выше материалов, что делает его более предпочтительным в большинстве проектов. Более широкому распространению ППУ панелей в строительстве препятствует только ее горючие свойства (по сравнению с минеральной ватой или стекловолокном). Однако и это препятствие, давно уже преодоленное на Западе, в последнее время преодолевается и у нас, как в результате проектирования соответствующих противопожарных мероприятий, так и применением особого вида ППУ, т. н. PIR-модифицированной пены с более высокими противопожарными характеристиками. Выше мы уже отмечали, что PIR Premier панели уже были известны в СССР, по крайней мере, в 1977г.

Повторно они появились на строительном рынке России в достаточно модифицированном виде с улучшенными характеристиками в 2010 году благодаря поставкам ведущих западных химических концернов Dow Chemical и Hantsman. Ниже мы более подробно остановимся на разновидностях пенополиуретана, применяемых в качестве среднего слоя сэндвич-панелей.

§ 1.2 ПРОИЗВОДСТВО СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ ППУ.

Есть два различных метода производства сэндвич-панелей, определяемые конкретным оборудованием: стандовый (или периодический) и непрерывный. Неизменной частью для любого крупномасштабного промышленного производства сэндвич-панелей является использование оборудования (пресса) высокого давления.

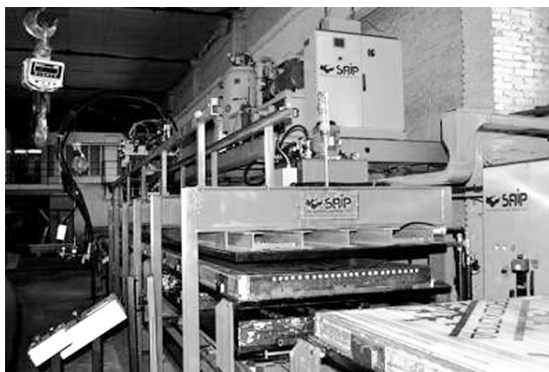


Рисунок 2: Периодическая линия производства сэндвич-панелей ППУ фирмы SAIP (Италия).

При «стандовом» или периодическом способе производства, панель заполняется пеной в закрытой форме, размеры которой соответствуют размерам будущей панели. Нижняя облицовка укладывается на дно формы, а верхняя облицовка находится в верхнем положении и поддерживается на специальных опорах. Как правило, формы для вспенивания имеют прочную раму и дно, а верхний лист обшивки прочно удерживается во время заливки. Конструкция должна быть достаточно прочной, так как в процессе вспенивания возникают значительное давление расширяющейся пены. На торцах формы (матрицы) имеются небольшие отверстия для выхода воздуха и излишков пены, чтобы пена максимально равномерно распространилась по всему объему формы. Точно рассчитанное количество пены впрыскивают в полость через форсунку, введенную через боковое отверстие в форме. Эта операция занимает всего несколько секунд. После пенообразования, панель остается в форме под прессом еще в течение 15–50 минут (в зависимости от толщины), после чего она может быть удалена, а форма подготовлена к следующей панели. Преимущество такого способа производства в его относительной гибкости – легко могут быть произведены панели разных форм и с разными облицовками.

Недостатком же является то, что процесс происходит относительно медленно, даже несмотря на то, что одна бригада рабочих циклически может обслуживать несколько стандов, а каждый станд, в свою очередь, имеет возможность производить до двух панелей одновременно.

Для более массового производства используется непрерывные автоматические линии вспенивания (*принцип действия показан на рис. 3*).

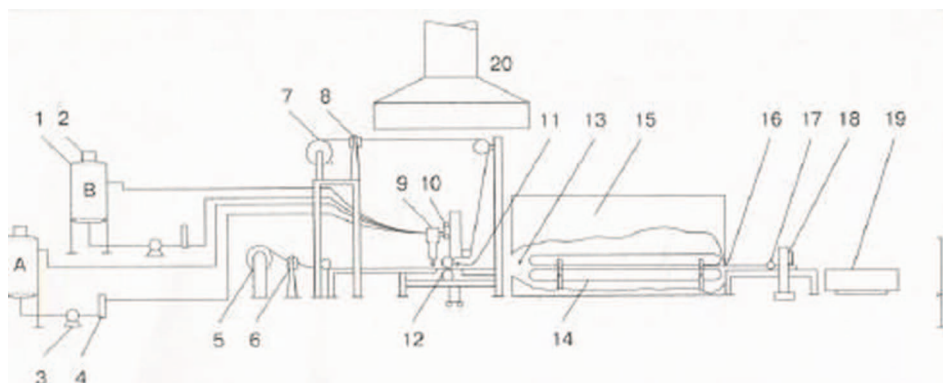


Рисунок 3: Схематическое изображение линии непрерывной заливки сэндвич-панелей.

1 – емкость полиола/изоцианата, 2 – миксер, 3 – насос высокого давления, 4 – расходомер, 5 – подача нижнего листа обшивки, 6 – подогрев, 7 – подача верхнего листа обшивки, 8 – регулятор подогрева, 9 – смесительная головка, осциллятор, 11 – 12 – регуляторы толщины панели, 13 – зона термостатирования, 14 – транспортер, 15 – нагреватель, 16 – калибратор, 17 – зона резки, 18 – пила, 19 – готовая панель.

Два рулона с металлическими лентами, которые образуют лицевые стороны панели, разматываются и проходят через профилировочную установку, где формируется профиль будущей панели вместе с краями, образующими замок типа «шип-паз». Затем они предварительно нагреваются до требуемой температуры, оптимальной для обеспечения хорошей адгезии. Смесь из двух компонентов затем вводится в пространство между двумя листами в определенной части конвейера, после чего обе полосы заходят под нагреватель, который одновременно является прессом, сопротивляющимся давлению вспенивания и удерживающим облицовки на нужном расстоянии друг от друга. По бокам панели движется цепь боковых формователей, формирующая внутреннюю часть замка типа «шип-паз». Когда непрерывная панель полностью формируется и пена затвердевает, она автоматически обрезается до нужной длины ленточной пилой. Отдельные панели затем проходят через охладитель, где полностью остывают и затем складываются в стопки для отправки потребителю. Всем процессом руководит компьютер, куда предварительно вносятся характеристики нужных панелей, их длины и количество.

Такой завод может производить около 500 000 м² сэндвич-панелей в один запуск со средней скоростью 6 м/мин.



Рисунок 4: Участок непрерывной линии производства сэндвич-панелей ПрофХолод (РиМа, Италия).

§ 1.3 СРЕДНИЙ СЛОЙ ПАНЕЛЕЙ ППУ. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О PUR И PIR.

Полиуретанами называют химические полимерные соединения, образующиеся в результате реакции между жидкими изоцианатами и жидкими полиолами. Это наиболее сложная и разнообразная группа полимеров. При определённом соотношении изоцианата и полиола можно получить как мягкие и эластичные пены, так и жёсткие пенополиуретаны (ППУ или PUR Classic) с закрытыми ячейками, обладающие отличными теплоизолирующими свойствами. Обычно, плотность жёстких ППУ колеблется в пределах 24–96 кг/м³, а сама она имеет структуру из мелких закрытых ячеек, наполненных вспенивающим газом (см. Рисунок 5).

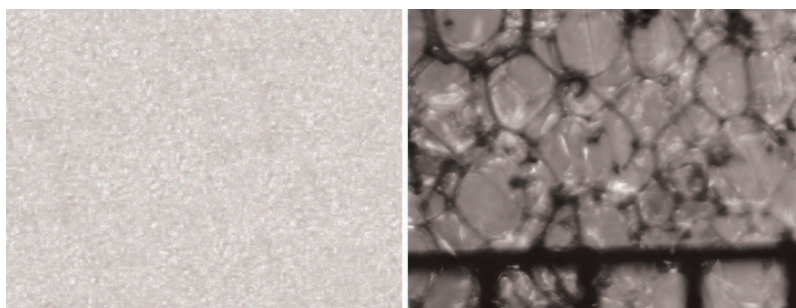


Рисунок 5: Ячеистая структура ППУ. Слева с 20-кратным увеличением, справа с 300-кратным увеличением. (шкала деления 0,5 мм.).

Помимо отличных теплоизоляционных качеств, жесткие ППУ обладают достаточной твёрдостью и могут выдерживать значительные механические нагрузки, что и делает их весьма привлекательными с точки зрения применения в качестве среднего слоя в трехслойных сэндвич-панелях. Теплопроводность жесткого ППУ в общем случае определяется теплопроводностью вспенивающего газа, которым наполнены ячейки, теплопроводностью твердой фракции и теплопроводностью за счет конвекции. При сравнительно малых размерах ячеек конвективный перенос тепла пренебрежительно мал, в то время как вклад твердой фракции составляет около 20%. Основной же вклад в теплопроводность пенополиуретана принадлежит газовой фракции. По этой причине природа вспенивающего агента, применяемого при производстве жестких ППУ, играет очень важную роль. На самом деле, в результате процесса вспенивания, помимо вспенивающего агента в ячейки попадает и некоторое количество диоксида углерода CO₂, который выходит через стенки ячеек достаточно быстро по сравнению с другими газами, и через некоторый промежуток времени, ячейки содержат в основном пенообразователь, обладающий очень низкой теплопроводностью.

В дальнейшем, после длительной эксплуатации, некоторое количество воздуха может диффундировать в пену, но это не имеет большого влияния на свойства изоляции. В сэндвич-панелях с металлическими облицовками средний слой защищен от диффузии плотным слоем металла и газы могут входить или выходить только через края панели.

До недавнего времени в качестве вспенивателя в основном использовали трихлорфторметан более известный как CFC-11 или R11, или под торговым названием Фреон-11 или Хладон-11. Однако, CFC-газы (хлорфторуглероды), как известно, являются одной из причин истощения озонового слоя стратосферы и их использование в настоя-

щее время запрещено в соответствии с Монреальским протоколом. В настоящее время существует целый ряд пенообразователей для использования в производстве сэндвич-панелей, в том числе гидрохлорфторуглеродов (HCFC22 или R22, HCFC142b или R142b, HCFC141b или R141b), гидрофторуглероды (HFC такие как R134a), различные формы пентана и воды, который производит двуокись углерода CO_2 при взаимодействии с изоцианатом.

После смешивания составляющих химических веществ, жидкая пена начинает довольно быстро расширяться. Время от начала смешивания компонентов до момента затвердевания составляет от 3 до 6 минут в зависимости от толщины панели. Поскольку химическая реакция является экзотермической, панели толще 100 мм, могут нагреться до температуры, превышающей 150°C . Поэтому необходимо складировать и хранить толстые панели не менее 24 часов для полного затвердевания и охлаждения перед отп-равкой их потребителю. Другая разновидность пенополиуретанов, обладающая улучшенными противопожарными характеристиками – это полиизоцианурат (Polyisocyanurate PIR Premier или ПИР) – отличается от простого пенополиуретана только соотношением, в котором смешиваются основные компоненты, полиол и изоцианат. Это соотношение примерно равно 1:1,5, в то время как в случае простого полиуретана это соотношение составляет примерно 1:1,1. Следовательно, в PIR-панелях немного больше изоцианата чем в PUR-панелях.

Механические и физические свойства PUR и PIR Premier панелей главным образом схожи. Тем не менее, определенные свойства могут отличаться из-за различного химического строения. Первоначально ПИР-пены показывали превосходные теплофизические свойства, но были весьма хрупкими и были определенные трудности с их применением в сэндвич-панелях. Модификация этих ранних композиций подходящими полиолами привели к ПИР-модифицированным полиуретановым полимерам, которые в настоящее время и используется исключительно образом. Хотя выбор полиола имеет исключительно важное значение, выбор катализатора также влияет на механических свойства пены.

Современные ПИР панели пользуются большой популярностью из-за их превосходной термической стабильности и противодействию огню. В то время как чистый пенополиуретан довольно быстро разрушается под воздействием температур выше 250°C , ПИР-модифицированные пены обычно начинают разрушаться при температуре выше 350°C . Особенностью ПИР-модифицированной пены является обугливание при горении или воздействии пламени с образованием «пористой» углеродной матрицы. Данная матрица служит защитой для внутренних слоев и препятствует их горению. Кроме того, благодаря образованию углеродной матрицы выделяется значительно меньше тепла, чем в случае пенопластов, сгорающих полностью. Таким образом, PIR-панели отличаются более высокими огнестойкими качествами, чем традиционные PUR-панели. Температура эксплуатации PIR-панелей доходит до 140°C , тогда как PUR-панели можно использовать только при температурах ниже 100°C . Как PUR-панели так и PIR-панели обладают высокими влагостойкими качествами и практически паронепроницаемы. В панелях с линий непрерывного производства, характеристики пены могут меняться в панели в направлении толщины. Смесь подбирается таким образом, чтобы пена поднялась до верхней поверхности и заполнила панель за относительно короткий промежуток времени. При этом плотность пены получается несколько больше ближе к облицовкам, чем в средней части панели, где расширение было свободным. Поскольку линия непрерывно движется, ячейки, как правило, приобретают, яйцевидную форму и ориентированы в направление вспенивания. Таким образом, средний слой в непрерывных линиях имеет очень характерные для конкретного предприятия структуру и свойства. В следующей таблице приведены основные свойства вспенивателей для жёстких ППУ, применяемых в настоящее время:

Таблица 1: Физико-химические характеристики различных вспенивателей.

Название	Молекулярная формула	Молекулярный вес (г/моль)	Теплопроводность при 25°C (мВт/м К)	Точка кипения (°C)	Давление насыщенного пара при 20°C (Бар)	Предел горючести (% объема в воздухе)
Фреон-11	$\text{C-Cl}_3\text{F}$	137,5	7,8	24	0,88	Нет
Фреон-141b	$\text{CH}_3\text{C-Cl}_2\text{F}$	116,9	9,8	32	0,69	5,6-17,6
Фреон-134a	CH_2FCF_3	102,0	14,3	-26	5,62	Нет
Фреон-245fa	$\text{CHF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	134,0	12,2	15	1,24	Нет
Фреон-365mfc	$\text{CH}_3\text{CF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	148,0	10,6	40	0,47	3,5-9,0
И-Пентан	C_5H_{12}	72,0	14,6	36	0,65	1,4-8,3
Изопентан	C_5H_{12}	72,0	13,8	28	0,80	1,4-7,6
Циклопентан	C_5H_{10}	70,0	12,6	50	0,34	1,4-7,8
Углекислый газ	CO_2	44,0	16,3	-78	56,55	Нет
Воздух	N_2/O_2	28,8	26,5	-193	624,03	Нет

Под давлением (при сжатии или сдвиге панели), жесткая структура полиуретановой пены разрушается в результате разрушения стенок газонаполненных ячеек. Плотность среднего слоя обычно составляет 35 – 50 кг/м³.

Отметим так же что экспериментально выявлено, что при одной и той же плотности ППУ меньшей теплопроводностью обладает образец, в котором средний размер ячеек меньше. При этом, как теплопроводность, так и прочность материала увеличиваются с увеличением плотности. Таким образом, для хорошей теплоизоляции лучше использовать ППУ с меньшей плотностью, но при этом мы получим достаточно хрупкий материал. На графике, представленном ниже (см. Рисунок 7) приведена зависимость теплопроводности жестких ППУ от плотности, полученная экспериментальным путём [5].

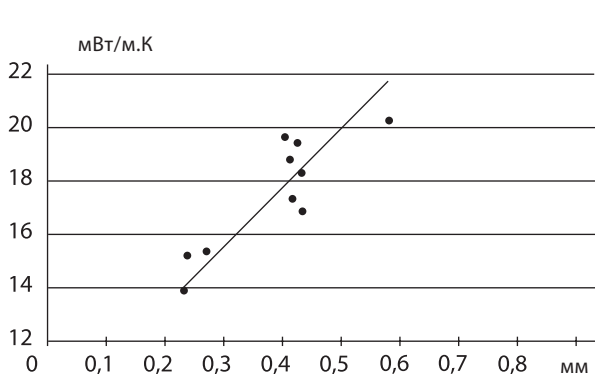


Рисунок 6: Зависимость теплопроводности ППУ от среднего размера ячеек [1].

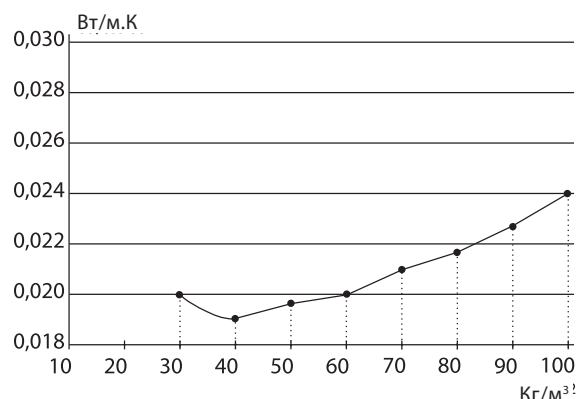


Рисунок 7: Зависимость теплопроводности от плотности ППУ.

Как видим, наилучшая теплоизоляция достигается при плотности ППУ около 40 кг/м³. Как будет показано ниже при такой плотности наполнителя, образцы обладают также достаточной конструктивной жёсткостью. Описанные выше свойства жестких пенополиуретанов позволяет широко применять их в строительной области в качестве теплоизоляционных материалов.

Качество и свойства производимого ППУ (PUR Classic так и PIR Premier) находятся под постоянным контролем. Ниже мы приводим результаты регулярно проводимых испытаний образцов твердого ППУ в научно-исследовательском центре «Дау Изолан».

Таблица 2: Результаты испытаний образцов PUR (компонент A Voracor CD 443, компонент B Voracor CD 345).

Показатель		Край с деформацией	Край без видимой деформации	Нормативная документация
Кажущаяся плотность (в ядре) кг/м³		39,4	37,8	ГОСТ 409
Напряжение сжатия при 10% деформации кПа		243,7	208,8	ГОСТ 17 177-87
Разрушающее напряжение при изгибе, кПа		330		ГОСТ 18564
Величина прогиба в момент разрушения, мм.		13,2		ГОСТ 18564
Водопоглощение за 24 часа, %		1,6		ГОСТ 17177-87
Прочность сцепления ППУ с листами при равномерном отрыве, кПа	Верх	117,4		ГОСТ 23486-79
	Низ	207,4		
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К 10/35		0,022		ГОСТ 7076-99
Стабильность размеров +75°C, 24ч., %	ΔL	<1		ГОСТ 20989-75
	ΔB			
	ΔH			

Таблица 3: Результаты испытаний фрагмента сэндвич-панели с PIR Premier (компонент A Voraterm CN 815 без использования праймера).

Показатель		шип	центр	паз	Нормативная документация
Общая плотность кг/м³		40,8	41,2	40,9	GOST 409
Кажущаяся плотность (в ядре) кг/м³		39,5	39,4	39,2	GOST 409
Напряжение сжатия при 10% деформации кПа	По высоте	116,17	99,97	115,25	GOST 23206-78
	По длине	318,87	317,48	317,53	
	По ширине	125,41	125,25	119,88	
Водопоглощение за 24 часа, %		1,50			GOST 20869-75
Прочность сцепления ППУ с листами при равномерном отрыве, кПа	Верх	134,39	110,77	132,16	GOST 22695-77
	Низ	118,12	111,54	100,32	
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К 10/35		0,021			GOST 7076-99

§ 1.4 МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЛИСТЫ ДЛЯ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ.

В качестве металлических обшивок для панелей, Компания ПрофХолод применяет металлические листы, удовлетворяющие стандартам, перечисленным в Таблице 4.

Металлические листы	Минимальный предел текучести	ГОСТ **
Оцинкованный лист	220 МПа	ГОСТ 14918-80 ГОСТ Р 52246-2003
Оцинкованный лист с полимерным покрытием	220 МПа	ГОСТ 30246-94 ГОСТ Р 52146-2003 ГОСТ Р 54301-2011
Нержавеющая сталь	220 МПа	ГОСТ 19904-90, EN 10088-1**
Листы из алюминиевого сплава марки АМг2 1/2Н	140 МПа	ГОСТ 21631-76
** Сорта металла указанные в этих стандартах пригодны не во всех областях применения		

В качестве стальных обшивок (за исключением обшивок из нержавеющей стали) мы применяем рулонную сталь согласно ГОСТ 14918-80, группы Б первого класса покрытия. Опробованы также зарубежные аналоги рулонной тонколистной стали с защитным антикоррозийным слоем из цинка (Zinc), 5% алюминий-цинкового покрытия (5% Al-Zn) или покрытия на основе алюминия, цинка и кремния (55% Al-Zn).

Покрытия на органической основе выбираются в соответствии с их долговечностью и в зависимости от конкретного применения. Допускаются многослойные защитные покрытия.

Класс и толщина металлических обшивок каждого слоя указываются для каждой партии сэндвич-панелей. Минимальной толщиной металлических обшивок для панелей ПрофХолод является 0,35 мм, максимальная – 0,7 мм. Минимальный предел текучести обшивок из нержавеющей стали соответствует Таблице 4. Химический состав обшивок из нержавеющей стали и их физические свойства соответствуют ГОСТ 5632-72. В качестве обшивок из нержавеющей стали Компанией ПрофХолод применяется листовая или рулонная сталь по ГОСТ 19904-90 или их зарубежные аналоги марки AISI 3041 (сертифицирован для применения в объектах пищевой промышленности) и AISI 430 (общего назначения).

1 **AISI** (American Iron and Steel Institute) — Американский Институт Стали и Сплавов, разработавший Стандарт AISI обозначения нержавеющей и легированных сталей.

AISI 304 представляет собой основной сорт в семействе нержавеющей сталей и содержит минимум 18 % Cr и 8 % Ni. Такое содержание Cr обеспечивает формирование на поверхности оксидного слоя, что придаёт стали устойчивость к воздействию разнообразных химических веществ. AISI 430 - наиболее широко применяемая ферритная хромистая коррозионностойкая сталь общего применения.

Таблица 5: Технические характеристики металлического листа обкладок панели.

Предел текучести не менее	280 МПа
Предел текучести не более	320 МПа
Временное сопротивление разрыву не менее	360 МПа
Относительное удлинение не менее	0,00%
Общая масса цинкового покрытия с обеих сторон листа не менее	275 г/м ²
Средняя толщина цинкового покрытия не менее	20 мкм
Стандартная ширина стального листа	1250 мм
Средняя толщина полиэфирного покрытия (для крашенных листов)	25-30 мк

§ 1.5 СТЕНОВЫЕ И КРОВЕЛЬНЫЕ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОФХОЛОД. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Рабочая ширина стеновых панелей, выпускаемых в настоящее время Компанией ПрофХолод составляет 1185 мм. Максимальная длина панелей, производимых на периодических линиях, не превышает 9300 мм, длина же панелей производимых на непрерывной линии, может быть значительно больше, вплоть до 16000 мм. Компанией разработаны и производятся стеновые панели со следующими толщинами: 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 150, 160, 180, 200 мм.

Ниже на Рисунке 9 представлены геометрические размеры стеновых панелей, производимых Компанией ПрофХолод. Панели толщиной 40-60 мм могут быть произведены на периодических линиях и иметь стыковочный замок типа «одинарный шип-паз». На непрерывной же линии производятся панели толщиной 60–150 мм с замком типа «двойной шип-паз».

Геометрические параметры кровельных панелей показаны на Рисунке 10. Толщина кровельных панелей (без учета «горбов», см. Рисунок 8): 40, 60, 80, 100, 120 мм.

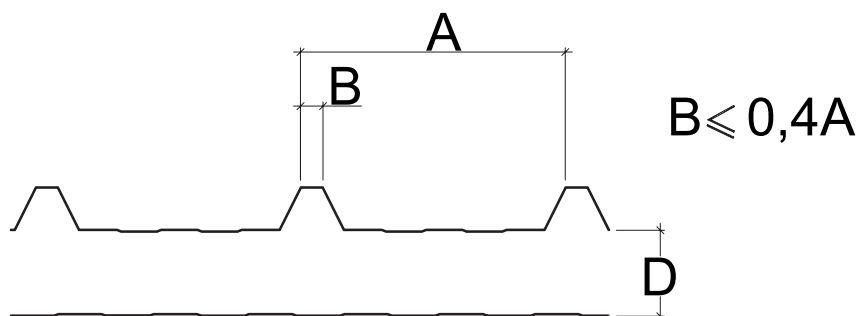


Рисунок 8: Определение толщины кровельной панели *D*.

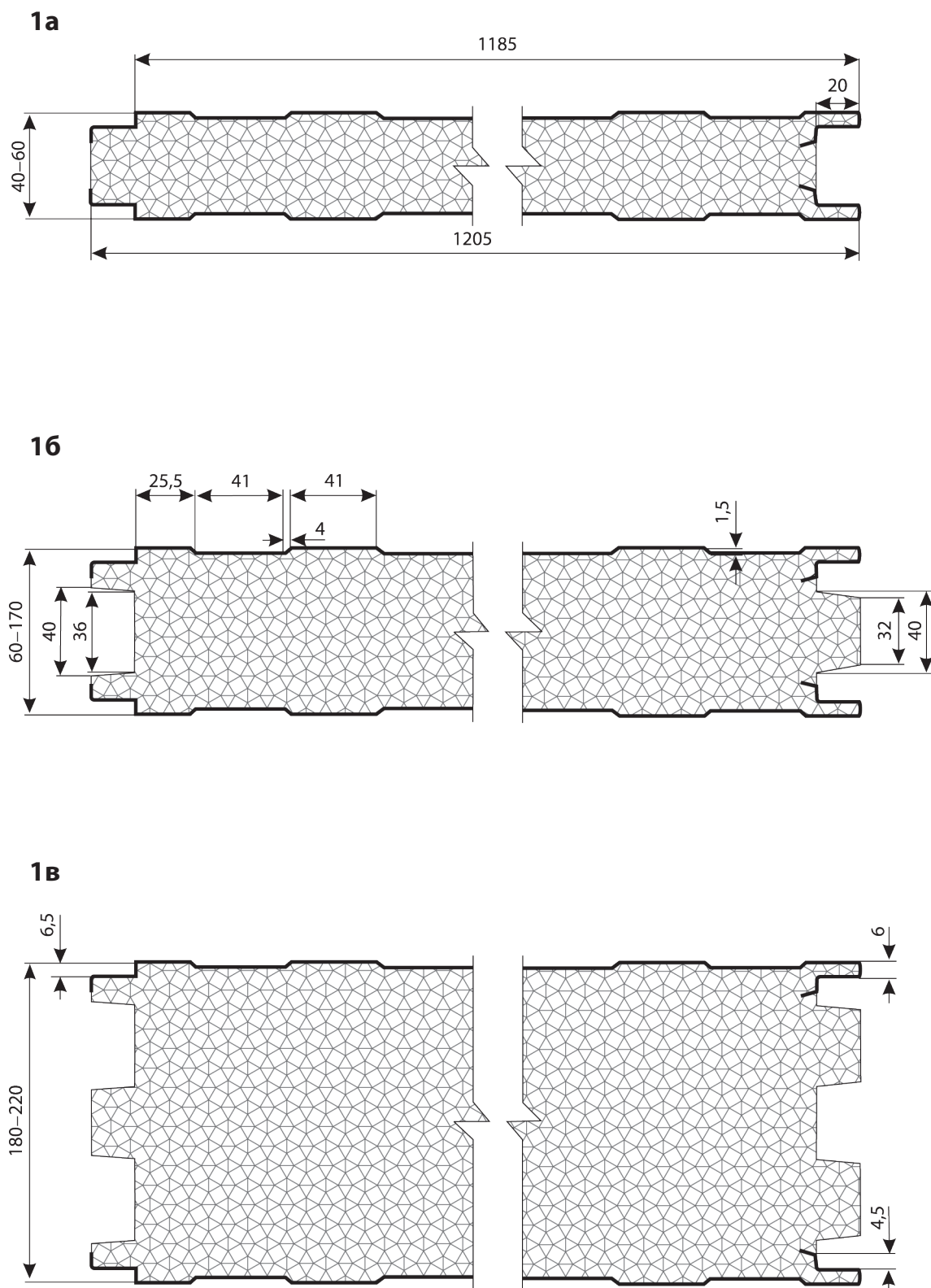


Рисунок 9: Геометрические параметры стеновых сэндвич-панелей, производимых Компанией ПрофХолод.

Стоит отметить, что показанные на Рисунках 9 и 10 формы стыковочных замков обеспечивают достаточно надежное соединение металлического листа 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. Стеновые панели, производимые на периодических линиях, могут быть также снабжены стягивающими «эксцентриковыми» замками вдоль всей длины для более плотного стягивания панелей между собой при монтаже.

Перечисленные выше стеновые панели отличаются также формой стыковочного замка типа «шип-паз». Панели толщиной 40–60 мм имеют соединение в виде «одинарного шип-паза», 80–170 мм имеют соединение в виде двойного «шип-паза», а замки панелей толщиной 180 и 200 мм могут быть произведены в виде «тройного шип-паза» (см. Рисунок 9). Поверхности стеновых панелей могут быть гладкими по желанию заказчика, однако отметим, что микропрофилировка поверхности металла придаёт панелям дополнительную жёсткость.

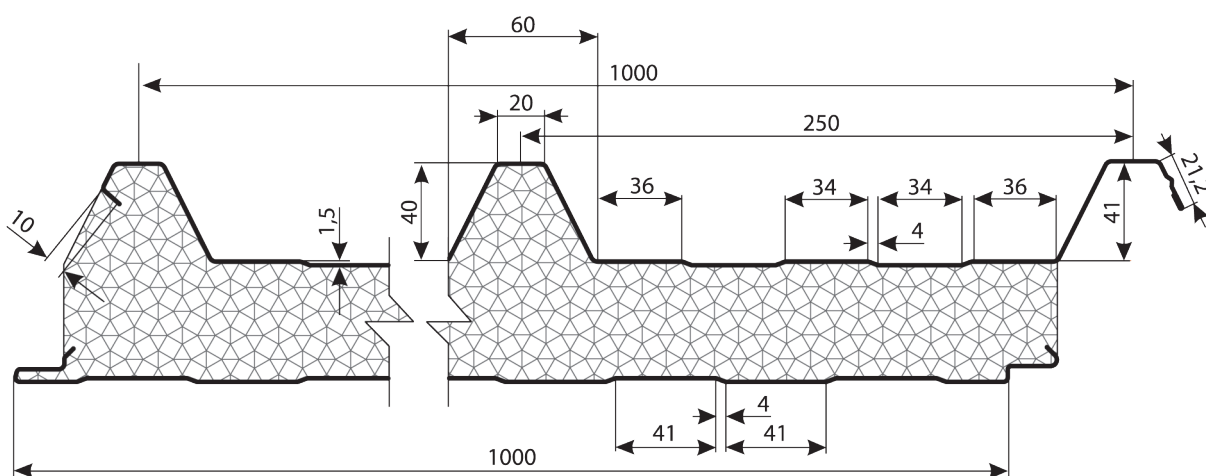


Рисунок 10: Геометрия кровельной панели производства ПрофХолод.

§ 1.6 ОБОЗНАЧЕНИЕ СТЕНОВЫХ И КРОВЕЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ ООО «ПРОФХОЛОД».

Для стеновых и кровельных панелей производства ПрофХолод приняты следующие обозначения:

	Длина панели (см)	Ширина панели (мм.)	Толщина панели (мм.)	Материал стороны 1		Материал стороны 2	Наполнитель
ПСТ (ПКТ)	XXX	XXXX	XXX	XXXX	/	XXXX	PUR или PIR

Рисунок 10: Геометрия кровельной панели производства ПрофХолод.

Здесь ПСТ – это аббревиатура, означающая «панель строительная трёхслойная» в случае кровельной панели соответственно ПКТ – «панель кровельная трехслойная». Стеновые панели могут быть снабжены стягивающими эксцентриковыми замками, и в этом случае вместо аббревиатуры ПСТ используется ПСТЗ. Для обозначения цвета покрытия сэндвич-панелей в Компании ПрофХолод используется цветовая шкала RAL2 (см. Рисунок 11). В качестве стандартного цвета обычно применяется белый цвет RAL 9003. Например, «ПСТ 9000 1185 100 RAL9003/Zn» обозначает стеновую панель длиной 9 м, шириной 1185 мм, толщиной 100 мм, с одной стороны покрытую крашеным металлом RAL 9003 с другой стороны оцинкованным не крашеным металлом (Zn). Толщина полиэфирного покрытия составляет 25 – 30 мкм. Более дорогие панели (по специальному заказу) производятся из металлического листа с пластизольным покрытием (толщина покрытия до 200 мкм). Такие панели отличаются лучшими декоративными качествами и более устойчивы к механическим и химическим воздействиям. Отличаются они также более высокой коррозионной стойкостью. Панели из нержавеющей стали марки AISI 304 сертифицированы для использования на объектах пищевой промышленности.

2 RAL-немецкий цветовой стандарт, разработанный в 1927 году Государственным комитетом по условиям поставок (нем. German Reichsausschuß für Lieferbedingungen und Gütesicherung).

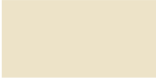
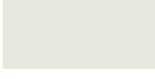
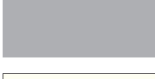
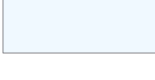
	1002		3016		6029		8016
	1013		5005		7011		8017
	1015		5008		7024		8019
	1021		5009		7032		9002
	3000		5010		8003		9003
	3003		6002		8004		9005
	3005		6003		8011		9006
	3009		6005		8012		9010
	3011		6020		8014		9016

Рисунок 11: Таблица цветов по шкале RAL.

§ 1.7 ОСНОВНЫЕ ЦВЕТА ПО КАТАЛОГУ RAL, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ.

Названия цвета	Условное обозначение RAL CLASSIC
Кремовый, Слоновая кость (англ. - Ivory)	RAL 1014
Бежевый, Светлая слоновая кость (англ. - Light Ivory)	RAL 1015
Желтый, Желтый цинк, Цинково-желтый (англ. - Zinc Yellow)	RAL 1018
Гранатовый, Красный рубин, Рубин (англ. - Ruby Red)	RAL 3003
Винно-красный, Вишневый, Спелая вишня (англ. - Wine Red)	RAL 3005
Коррида, Красная окись, Оксид красного (англ. - Oxide Red)	RAL 3009
Красно-коричневый, Терракотовый (англ. - Brown Red)	RAL 3011
Синий насыщенный, Синий сигнальный (англ. - Signal Blue)	RAL 5005
Газонная трава, Зеленый, Зеленый лист (англ. - Leaf Green)	RAL 6002
Зеленый мох, Зеленый темный (англ. - Moss Green)	RAL 6005
Серый, Серый сигнальный (англ. - Signal Grey)	RAL 7004
Коричневый темный, Шоколадный (англ. - Chocolate Brown)	RAL 8017
Белая ночь, Бело-серый, Дымка (англ. - Grey White)	RAL 9002
Белый, Белый сигнальный (англ. - Signal White)	RAL 9003
Алюминий светлый, Снежная королева (англ. - Aluminum)	RAL 9006
Белый, Белый чистый (англ. - Pure White)	RAL 9010

§ 1.8 ГРУППЫ ЦВЕТОВ I-III.

Цвета панелей подразделяются на три группы в зависимости от термического поглощения энергии. Светлые оттенки поглощают меньше световой энергии и лучше отражают (Группа 1).

Таблица 6: Группы цветов RAL по способности поглощать световую энергию.

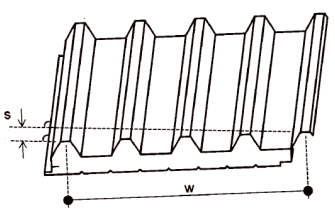
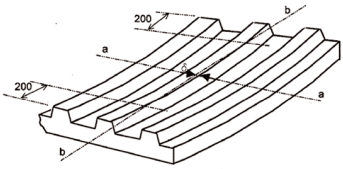
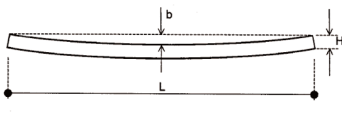
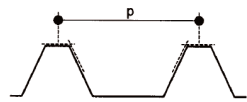
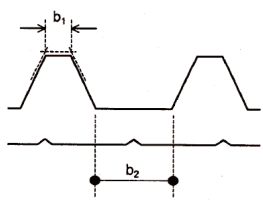
Группа I		Группа II		Группа III	
RAL	°C	RAL	°C	RAL	°C
9002	54	1001	57	2002	67
9003	54	1002	57	6010	67
9010	52	7038	57	8025	68
9001	53	9006	57	8004	69
1013	54	1007	59	5007	69
1015	54	1024	59	6001	70
1018	54	2003	60	3000	70
1016	55	6021	60	6002	71
7035	55	1020	61	3002	71
6019	55	7001	61	6003	71
		2000	61	3009	71
		6018	61	5009	71
		7002	61	7015	71
		6011	61	5010	75
		5012	61	8016	78
		2004	61	6008	79
		1006	61	5013	80
		8023	61	6020	75

§ 1.9 ПРЕДЕЛЬНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ДЛЯ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ.

Предельные отклонения для сэндвич-панели должны соответствовать Таблице 7.

Таблица 7: Предельные геометрические отклонения для сэндвич-панелей.

Размер	Схематичное представление	Предельное отклонение
Толщина панели*		• при $D \leq 100 \text{ мм}$ — 2 мм • при $D > 100 \text{ мм}$ — $\pm 2\%$
Отклонение от плоскостности в зависимости от промежутка L, на котором производится измерение.		• при $L = 200 \text{ мм}$ — 0,6 мм • при $L = 400 \text{ мм}$ — 1,0 мм • при $L > 700 \text{ мм}$ — 1,5 мм
Высота профилировки кровельных панелей		$h = \frac{h_1 + h_2}{2}$ $h = 40 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$
Глубина микропрофиля стеновых панелей		$1,5 \text{ мм} \pm 0,3 \text{ мм}$
Длина панели		• при $L \leq 3 \text{ м}$ — $\pm 5 \text{ мм}$ • при $L > 3 \text{ м}$ — $\pm 10 \text{ мм}$
Рабочая ширина		$\pm 2 \text{ мм}$

Размер	Схематичное представление	Предельное отклонение
Отклонение от перпендикулярности		0,006 x рабочую ширину
Отклонение от прямолинейности по длине		1 мм на метр, максимально 5 мм
Кривизна		• 2 мм на 1 метр, максимально 10 мм • 8,5 мм на метр ширины для микропрофилированных стеновых панелей • 10 мм на метр ширины для кровельных панелей
Растр профиля кровельных панелей		$P = 250 \text{ мм} \pm 2 \text{ мм}$
Ширина верхнего пояса (b_1) и ширина нижнего пояса (b_2)		• для b_1 — $\pm 1 \text{ мм}$ • для b_2 — $\pm 2 \text{ мм}$

§ 1.10 ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ ИЗ ППУ (PUR/PIR). ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА И ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ.

Тепловые потери в зданиях и сооружениях связаны с двумя физическими процессами:

- потерями тепла, обусловленными теплопроводностью материалов ограждающих конструкций (пол, стены и потолок);
- потерями тепла, связанными с переносом воздуха через естественные поры ограждающих сооружений (естественной вентиляцией).

Потери тепла, обусловленные первым фактором, можно уменьшить, применяя материалы с меньшей теплопроводностью, а потери, связанные со вторым фактором - использованием воздухонепроницаемых материалов для ограждающих конструкций и применением эффективных методов искусственной вентиляции.

Сэндвич-панели обладают идеальными качествами для предотвращения тепловых потерь, связанных с перечисленными выше факторами, и вкуче с такими качествами, как небольшой вес, легкость, быстрота монтажа и высокая прочность, они становятся незаменимыми во многих отношениях.

Толщина теплоизоляции для зданий различного назначения и в разных климатических условиях на территории Российской Федерации определяется теплотехническими расчетами, основанными на СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» и СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

Здесь же мы остановимся более подробно на основных физических понятиях, описывающих теплоизоляционные свойства различных материалов и конструкций.

Одним из основных понятий в термодинамике является понятие теплопроводности (не путать с коэффициентом теплопроводности).

Теплопроводность – это перенос теплоты структурными частицами вещества (молекулами, атомами, электронами) в процессе их теплового движения. Такой теплообмен может происходить в любых телах с неоднородным распределением температур, но механизм переноса теплоты будет зависеть от агрегатного состояния вещества. Явление теплопроводности заключается в том, что кинетическая энергия атомов и молекул, которая определяет температуру тела, передаётся другому телу при их взаимодействии, или передаётся из более нагретых областей тела к менее нагретым областям. В установившемся режиме поток энергии, передающейся посредством теплопроводности через стену площадью S за единицу времени, пропорционален разности температур по обе стороны стены и обратно пропорционален толщине стены. Если речь идёт о стационарном потоке тепла через стену из сэндвич-панелей от одной обшивки сэндвич-панели к другой, то для тепловых потерь имеем [6], [7]:

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

где Q - полная мощность тепловых потерь в единицу времени, S - площадь рассматриваемой стенки, ΔT - перепад температур по обе стороны сэндвич-панели,

δ – толщина теплоизоляционного слоя.

Множитель λ называется коэффициентом теплопроводности и служит для количественной оценки способности конкретного материала проводить тепло. Измеряется коэффициент теплопроводности в Вт/(м*К). Важно понимать, что коэффициент теплопроводности является физической характеристикой материала и определяется только его внутренней структурой, а не формой и размерами. В Таблице 8 приведены значения коэффициента теплопроводности для различных строительных материалов.

Таблица 8: Коэффициенты теплопроводности основных строительных материалов.

Материал	$\lambda_{\text{declared}}$ (Вт/м·К)
Алюминий	202-236
Сталь	47-60
Стекло	1,15
Кирпич строительный	0,87
Бетон сплошной	1,7
Пенобетон	0,14-0,3
Дерево	0,15
Минеральная вата	0,045
Пенополистирол	0,04
Пеноизол	0,035
Воздух (сухой неподвижный)	0,024-0,031
Пенополиуретан (PUR/PIR)	0,021-0,023

Обычно нормативный (или ина-че декларируемый) коэффициент теплопроводности ППУ (как PUR так и PIR) находится в пределах $\lambda=0,021-0,022$ Вт/м*К., хотя некоторые производители декларируют что их панели имеют теплопроводность $\lambda=0,018$ Вт/м*К., эти утверждения кажутся не вполне убедительными и их следует рассматривать только как маркетинговую кампанию.

Кроме всего прочего согласно EN 14509-2005 в качестве декларируемого коэффициента производитель обязан указать значение коэффициента теплопроводности, характеризующее не менее 90% изделий с вероятностью 90%, а не единичные «рекордные значения».

Помимо прочего, для тепловых расчетов важен не столько нормативный (декларируемый) коэффициент теплопроводности, сколько т. н., расчетный λ_{design} , т.е., пригодный для теплофизических расчетов. В чем же разница между этими двумя понятиями? В этом вопросе мы встречаем два совершенно разных подхода: в странах ЕС и в РФ. В ЕС, как уже мы отмечали, создан единый стандарт на сэндвич-панели EN 14905-2005, где достаточно четко регламентируются методики определения всех важных с точки зрения проектирования характеристик сэндвич-панелей, в том числе описана методика определения расчетного коэффициента теплопроводности. Причем, эти методики прописаны для всевозможных материалов, применяемых в качестве среднего слоя панели и учитывают их порой совершенно разные особенности с точки зрения длительной эксплуатации (долговечности).

Так, для жестких ППУ под расчетным коэффициентом теплопроводности, согласно EN 14509 и EN 13165-2008, понимают коэффициент теплопроводности с учетом старения материала, а в качестве основного фактора старения ППУ считается улетучивание газового реагента, которым наполнены ячейки ППУ и замещение их воздухом. Влияние же увлажнения на теплопроводность сэндвич-панелей ППУ полностью исключается т. к. сэндвич-панели обладают металлическими влагозащищенными внешними слоями, полностью исключающие увлажнение среднего слоя при правильном монтаже.

В РФ свойства ППУ, в особенности последних модификаций, изучены не достаточно хорошо, стандарт на ППУ-панели ГОСТ 23486-79 безнадежно устарел, а в качестве основного фактора, ухудшающего теплоизоляционные характеристики всех строительных материалов и изделий, согласно ГОСТ Р 54855-2011 принято считать эксплуатацию во влажной среде. Для ППУ регламентируется указание коэффициента теплопроводности в условиях эксплуатации А (2%-увлажнение по массе) и Б (5%-увлажнение по массе). И при этом не берется в расчет, что в данном случае мы имеем дело не просто с ППУ, а с ППУ в полностью влагозащищенной оболочке.

Конечно, коэффициент теплопроводности зависит, в том числе, и от влажности, но это

имело бы решающее значение, если предполагается постоянная эксплуатация панелей во влажной среде и с учетом изъянов при монтаже, допускающих проникновение влаги в средний слой через негерметизированные стыки между панелями. Периодические (сезонные) изменения влажности никак не сказываются на структуре ППУ и практически не сказываются на ее старении в отличие от минеральной ваты, для которой увлажнение является главным фактором старения. Помимо этого, как мы уже отмечали, как в европейском, так и в российском стандарте сэндвич-панели, обладающие цельными металлическими обшивками, априори считаются водонепроницаемыми и влагозащищенными³. Коэффициент теплопроводности зависит также от температуры материала, но как европейский стандарт EN14509-2005, так и российский ГОСТ 54855-2011 не обязывают производителей указывать коэффициент теплопроводности предварительно нагретых образцов в качестве расчетной величины. Как мы уже отмечали, главным фактором, ухудшающим теплоизоляционные свойства ППУ, является диффузия газового реагента и замещение его воздухом, а увлажнение является просто дополнительным ухудшающим фактором, имеющим место только при соответствующих условиях эксплуатации.

Подводя итоги, приведем краткое изложение различий в определениях расчетного коэффициента теплопроводности в странах ЕС и России в табличной форме:

Таблица 9: Декларируемый и расчетный коэффициенты теплопроводности сэндвич-панели, согласно EN 14509-2008.

Характеристика	Декларируемый коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{declared}}$	Расчетное значение коэффициента теплопроводности $\lambda_{\text{design}}^*$	Основной фактор старения
Коэффициент теплопроводности	Значение λ , характеризующее 90% изделий с вероятностью 90% в сухом состоянии без процедуры искусственного старения при средней температуре образцов 10°C	Значение λ , характеризующее 90% изделий с вероятностью 90% в сухом состоянии после процедуры искусственного старения* при средней температуре образцов 10°C	Замещение газового реагента воздухом.
* Процедура искусственного старения зависит от типа вспенивающего реагента см. EN 13165-2008.			
* Помимо процедуры искусственного старения ко всем типам панелей с металлическими (воздухонепроницаемыми) обшивками принимают приращение равное 0,001 Вт/м К (EN 13165-2008).			

Таблица 10: Номинальный и расчетный коэффициента теплопроводности строительных материалов согласно СНиП 23-02-2003.

Характеристика	Декларируемый коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{declared}}$	Условия эксплуатации А	Условия эксплуатации В
Коэффициент теплопроводности	Теплопроводность в сухом состоянии в соответствии с ГОСТ 7076-78-средне арифметическое значение коэффициента теплопроводности как минимум 5 образцов.	Коэффициент теплопроводности в условиях эксплуатации при 2% влажности.	Замещение газового реагента воздухом.

³ Если панели смонтированы «правильно» согласно рекомендациям производителей все стыки должны быть загерметизированы.

§ 1.11 РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПАНЕЛИ U И ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ R.

Для описания теплопроводности различных ограждающих конструкций (стен, потолков и кровли), и, в частности, сэндвич-панелей, кроме коэффициента теплопроводности, используют понятия коэффициента теплопередачи U и термического сопротивления R.

Тепловой поток при передаче тепла через стенку камеры в этом случае определяется по формуле:

$$Q = U \cdot S \cdot \Delta T, \quad (2)$$

где U - коэффициент теплопередачи сэндвич-панели, который уже будет зависеть от ее толщины (имеет размерность Вт/м²*К); S - площадь поверхности стенки в м²; а ΔT – разность температур воздуха по обе стороны сэндвич-панели, называемая ещё «температурным напором».

Помимо коэффициента теплоотдачи U, вводится также понятие термического сопротивления R, которое характеризует способность тела (его поверхности или какого-либо слоя) препятствовать распространению теплового движения молекул. Различают полное термическое сопротивление – величину, обратную коэффициенту теплопередачи, поверхностное термическое сопротивление – величину, обратную коэффициенту теплоотдачи и термическое сопротивление слоя, равное отношению толщины слоя к его коэффициенту теплопроводности.

Коэффициент теплопередачи U в более общем случае определяется как

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

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);

λ_{design} – расчетное значение теплопроводности среднего слоя, (Вт/м*К);

λ_{fi} – расчетное значение теплопроводности внутренней обшивки, (Вт/м*К);

λ_{fe} – расчетное значение теплопроводности внешней обшивки, (Вт/м*К);

Δ_e – дополнительная толщина за счет профилирования, (м);

Ψ – коэффициент теплопередачи стыков на м ширины панели, (Вт/м*К);

B – общая ширина панели, (м);

R_{si} – поверхностное термическое сопротивление внутренней поверхности (м²*К/Вт);

R_{se} – поверхностное термическое сопротивление внешней поверхности (м²*К/Вт).

Согласно EN ISO 6946 R_{si} и R_{se} принимают значения, указанные в таблице.

Величина Δ_e важна для кровельных панелей и зависит от формы и высоты профилировки (Рисунок 12).

	Направление потока тепла		
	Кровля	Стены	Пол
Внутренняя поверхность			
R_{si} (м²К/ Вт)	0,1	0,13	0,17
Внешняя поверхность			
R_{se} (м²К/ Вт)	0,04	0,04	0,04

Величина Δ_e важна для кровельных панелей и зависит от формы и высоты профилировки (Рисунок 12).

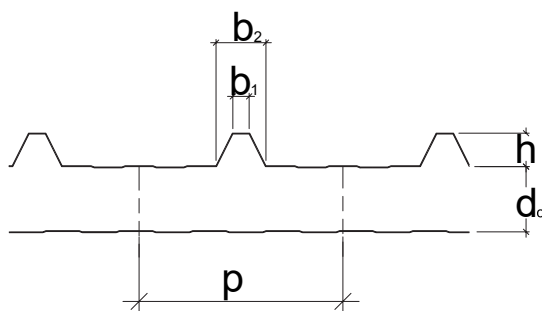


Рисунок 12: Определение величины Δ_e по EN 14509-2008. $b_1=20$ мм, $b_2=60$ мм, $h=40$ мм, $p=250$ мм (для панелей ПрофХолод).

Таблица 11: Определение величины Δ_e (мм) для кровельной панели [2].

r	Высота ребер h (мм)			
	$10 \leq h \leq 25$	$25 \leq h \leq 50$	$50 \leq h \leq 70$	$h > 70^a)$
$r < 25\%$	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
a) При $h > 120$ мм требуется более точный расчет				

Где

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

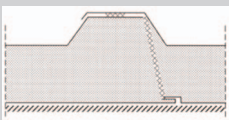
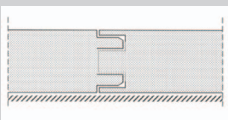
Как видим, для кровельных панелей ПрофХолод $\Delta_e = 2$ мм.

Формула (3), альтернативно, может быть представлена в виде [8], [2].

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{t_{ni}}{\lambda_{fi}} + \frac{d_c + \Delta_e}{\lambda_{design}} + \frac{t_{ne}}{\lambda_{fi}} + R_{se}} \cdot \left(1 + f_{joint} \frac{1,0}{B}\right) \quad (5)$$

где f_{joint} – коэффициент теплопередачи стыков, рассчитанный для длины стыков 1 м, определяемый из Таблицы 12.

Таблица 12: Коэффициент теплопередачи стыков (f_{joint}) для стальных обшивок.

Толщина (мм)	f_{joint}	
	Кровля	Стена
		
60	0,04	0,2
80	0,04	0,2
120	0,04	0,1
160	0,04	0,1
200	0,03	0,1

В качестве примера рассчитаем коэффициент теплопередачи через стеновую сэндвич-панель ППУ толщиной 100 мм и шириной 1185 мм с металлическими обшивками толщиной 0,5 мм.

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

Согласно формуле (5) имеем

$$U = \frac{1}{0,04 + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{60} + \frac{102 \cdot 10^{-3}}{0,026} + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{60} + 0,13} \cdot (1 + 0,1) \frac{1,0}{1,185} \approx 0,26 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}} \quad (6)$$

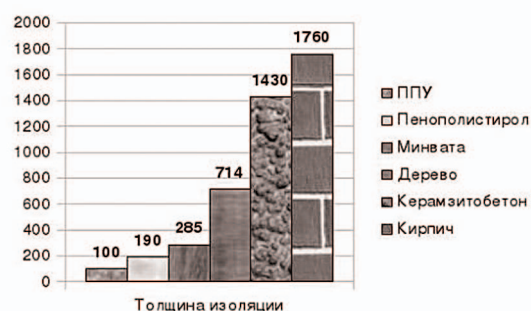
§ 1.12 СРАВНЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ .

Понятие термического сопротивления позволяет наглядно сравнить теплоизоляционные свойства различных материалов.

Ниже в Таблице 13 представлены коэффициенты теплопроводности различных строительных материалов, вычисленные на основе декларируемого коэффициента теплопроводности и наглядно показаны толщины материалов обеспечивающие теплоизоляцию, соответствующую пенополиуретану (PUR Classic/PIR Premier) толщиной 100 мм.

Материал	λ (Вт/м·К)	Толщина (мм.)
ППУ (PUR/PIR)	0,021	100
Пенополистирол	0,04	190
Минвата	0,06	285
Дерево	0,15	714
Керамзитобетон	0,3	1430
Строительный кирпич	0,37	1760

Таблица 13. Сравнение теплоизоляционных свойств строительных материалов и графическое представление.



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

§ 1.13 ТЕПЛОЁМКОСТЬ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ.

Сэндвич-панели являются легкими строительными конструкциями. Это означает, что они обладают относительно небольшой способностью накапливать тепло по сравнению с традиционными материалами, такими, как, например, бетон.

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

Ниже в таблице приведены удельные теплоемкости и плотность некоторых строительных материалов (данные взяты из [2]).

Таблица 14: Удельная теплоемкость строительных материалов.

Материал	Плотность ($\text{кг}/\text{м}^3$)	Удельная теплоемкость ($\text{Вт}/\text{кг} \cdot \text{K}$)
Бетон	2300	900
Легкий бетон	500	1000
Дерево	500	2300
Сталь	7800	500
Минеральная вата	70-150	1030
PUR Classic, PIR Premier	40-42	1400

Сравним теплоемкость бетонной стены толщиной 100мм с теплоемкостью сэндвич-панели PUR той же толщины (для простоты считаем, что толщина сердечника составляет 100 мм, а металлических обшивок 0,5 мм).

Бетон (100мм)	$C = 2300 \times 0,1 \times 900 = 207 \times 103$ ($\text{Вт}/\text{K}$)
Сэндвич-панель PUR (100 мм)	$C = 40 \times 0,1 \times 1400 + 7800 \times 0,001 = 5607,8 \approx 5,61 \times 103$ ($\text{Вт}/\text{K}$)

Как видим, теплоемкость бетона выше теплоемкости сэндвич-панелей более чем в 36 раз. В современных зданиях, конечно выгодно использовать стены и перекрытия из материалов с большой теплоемкостью, которые способны аккумулировать значительное количество тепла. Однако это в большей степени относится к внутренним стенам и перегородкам, для внешних же стен выгоднее отдать предпочтение материалам с большей теплоизоляцией, чем с большой теплоемкостью. Тогда понадобится значительно меньше энергии для поддержания заданной температуры внутри помещения. И это верно как в случае низких температур (холодильники и пр.), так и административных и жилых зданий.

Если еще эти стены являются легкими конструкциями с низкой теплоемкостью, как сэндвич-панели, то обогреть или охладить ограждаемое ими помещение можно значительно быстрее.

§ 1.14 «МОСТИКИ» ХОЛОДА И МИНИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ.

«Мостики холода» обычно возникают при монтаже сэндвич-панелей, когда материал с хорошей теплопроводностью, например металл, соприкасается одновременно с внутренней и внешней стороной сэндвич-панели. Наличие мостиков холода приводит как к увеличению тепловых потерь, так и к риску возникновения конденсата на поверхности панели. По этой причине монтаж сэндвич-панелей проводится согласно определенным правилам с использованием специально разработанных узлов, предотвращающих возникновения мостиков холода. Дверные и оконные проемы также обрамляются специальным прерывающим профилем. В качестве крепящих саморезов необходимо использовать специальные стальные шурупы с низкой теплопроводностью, по возможности с маленьким поперечным сечением и с резиновой прокладкой. Предотвращение «мостиков холода» является одной из основных задач при возведении зданий из сэндвич-панелей. И от качества монтажа зависит насколько эффективно сэндвич-панели будут выполнять свою основную функцию теплоизоляции.

Таблица 15: Основные характеристики стеновых сэндвич-панелей с наполнителем из пенополиуретана и пенополиизоцианурата (PUR Classic/PIR Premier) производства ООО ПрофХолод.

Средняя плотность		39,6			39,7			39,6			39,8			39,8			39,7			39,4			39,3			39,5			Нормативная документация
Толщина		40			50			60			80			100			120			150			170			200			
Ш-шип, Ц-центр, П-паз		Ш	Ц	П	Ш	Ц	П	Ш	Ц	П	Ш	Ц	П	Ш	Ц	П	Ш	Ц	П	Ш	Ц	П	Ш	Ц	П				
Кажущаяся плотность, кг/м³		39,3	39,2	39,5	39,4	39,1	39,5	39,3	39,1	39,4	39,3	39,1	39,3	39,3	39,1	39,3	39,2	39,0	39,0	39,1	38,9	39	39	39	38,8	38,9	38,4	38,5	EN 1602
Напряжение сжатия 10% деформация, ось X (по толщине), кПа	ось X (по толщине), кПа	157			157			153			149			148			140			138			134			122			EN 14509
	ось Y (по ширине), кПа	133,00			142			145			141,00			144			141			140			140			135			
	ось Z (по длине), кПа	331			298			299			291			270			286			259,00			264,00			229,00			
Водопоглощение 24ч, %		1,4			1,4			1,4			1,3			1,3			1,3			1,4			1,4			1,4			ГОСТ 20869-75
Прочность панели при поперечом растяжении, кПа		144			111			130			155			126			113			101			89			81			EN 1607
Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К		0,0217			0,0216			0,0218			0,0216			0,0215			0,022			0,0219			0,0219			0,219			EN 13165
Стабильность линейных размеров (24 ч), %	Δ l	-0,6			-1,1			-0,7			0			-0,6			-0,7			-1,2			-0,9			-0,9			ГОСТ 20989-75
	Δ b	0			0			1			0			0			0			-1,1			-1,02			-1			
	Δ h	0,6			0			0			0			0,9			0			0			0			-0,8			
Потеря массы (24 ч), %		0,21			0,2			0,25			0,06			0,21			0,24			0,08			1,11			1,2			ГОСТ 20989-75
Прочность панели при поперечом растяжении, кПа низ		112			101			102			106			89			85			86			81			61			EN 1607

Таблица 16: Основные характеристики кровельных сэндвич-панелей с наполнителем из пенополиуретана и пенополиизоцианурата (PUR Classic, PIR Premier) производства ПрофХолод.

Тип наполнителя	PUR Classic, PIR Premier					
Плотность	40±5 кг/м ³					
Толщины панелей (мм.)	40	60	80	100	120	150
Вес (кг/м ²)	9,8	10,7	11,5	12,3	13,1	14,4
Максимальная длина	16000 мм.					
Ширина	1071 мм.					
Рабочая ширина	1000 мм.					
Толщина металла	≥ 0,45 мм.					
Поверхность металла	Профилировка согл. Рисунку 8 на стр.10					
Стандартное исполнение	RAL 9003 или Zn (некрашенный оцинкованный лист)					
Коефф. теплопроводности	0,021 Вт./м. К					
Коефф. Термического сопротивления.	2,0	2,95	3,90	4,86	5,81	7,24
Пожаростойкость	См Таблицу 17					
Влагопоглощение за 24 часа при относительной влажности воздуха 96%	1%-2,5%					
Водопоглощение за 24 час при полном погружении % от объема	2,5 %					
Звукоизоляция	35 dB					

Таблица 17: Пожаростойкость стеновых и кровельных панелей PUR Classic и PIR Premier .

Характеристика	Наименование	40	60	80-120	150-200
Предел огнестойкости	Стеновые панели PUR	EI 15			
Предел огнестойкости	Стеновые панели PIR	EI 15	EI 30		EI 45
Класс пожарной опасности	Кровельные панели PIR	RE 15	RE 15	RE 30	RE 30
Группа горючести	Кровельные панели PIR	K1 (15)			
Группа воспламеняемости	Стеновые панели PIR	Г2			
Дымообразующая способность		В1			
Группа по токсичности продуктов горения		Д3			
Группа распространения пламени по поверхности		Т2			
		РП1			

ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК И РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР НА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛИ

§ 2.1 ДЕФОРМАЦИЯ ПАНЕЛЕЙ ИЗ-ЗА РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР НА ЕЁ ПОВЕРХНОСТЯХ.

В § 1.7 и § 1.8 уже отмечалось, что при выборе цвета панелей для внешних ограждений надо учитывать их возможную деформацию в результате нагрева внешней стороны из-за сильного светопоглощения. На самом деле, эта проблема гораздо шире и в общем случае имеет место всегда, когда возникает значительная разность температур между обкладками сэндвич-панели и обусловлена термической деформацией стальных обкладок панели, которая характеризуется коэффициентом линейного термического расширения металла α_L

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

где L – линейная длина (ширина) панели, ΔL – величина термического удлинения, ΔT – изменение температуры.

В зависимости от состава стали коэффициент α_L для металлических листов равен $(11 - 13) \cdot 10^{-6}$ ($1/^\circ\text{C}$) и приближённо остаётся неизменным при изменении температуры. Если температура на поверхностях сэндвич-панели различна и равна соответственно T_1 и T_2 , то можно показать, что панель будет подвержена поперечной деформации и величина прогиба в центре панели длиной L будет равна:

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

где $\theta = (\alpha_2 T_2 - \alpha_1 T_1) / D$, (D – расстояние между серединами металлических листов).

Для панели толщиной d и с одинаковыми обшивками толщиной δ для величины деформации имеем:

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

Величины деформации, при разности температур на внутренней и внешней обкладках панели равной 55°C приведены в Таблице 18 для панелей длиной 3 м и 6 м.

Таблица 18: «Термическая» деформация панелей длиной 3 м и 6 м при разности температур на обкладках 55°C .

Толщина панели (мм.)	Термическая деформация (при $\Delta T = 55^\circ\text{C}$) (см.)	
	при $L = 6$ м.	при $L = 3$ 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

Данные в этой таблице более наглядно представляют, что, как уже мы отмечали, для панелей с внешней обшивкой тёмных оттенков, принадлежащих Группам II или III (см. Таблицу 6), которые более подвержены к нагреванию, необходимо применять малые пролёты.

§ 2.2 НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ

Ниже мы остановимся на основных механических характеристиках трёхслойных сэндвич-панелей. Отметим, что в противовес традиционным строительным технологиям, где теплоизоляционные материалы служат только в качестве утеплителей, сэндвич-панели являются самонесущими конструкциями, а в сравнительно небольших строениях, какими, как правило, являются холодильные камеры, сэндвич-панели могут использоваться и в качестве несущих конструкций.

Очевидно, что два тонких слоя металла и слой жесткого пенополиуретана, каждый в отдельности, не обладают такой несущей способностью, как сэндвич-панель в целом. Обе тонкие обшивки из металла из-за своей незначительной жесткости на изгиб едва ли могут выдержать собственный вес. Точно так же средний слой полиуретана из-за низкого модуля упругости обладают достаточно большой деформативностью. Но если слои металлической обшивки и средний слой из пенополиуретана соединены между собой, то получается трехслойная конструкция с большой несущей способностью.

Распределение поперечной нагрузки в подобной конструкции происходит следующим образом: изгибающий момент воспринимают только внешние слои, так как средний слой по сравнению с ними обладает малой жесткостью при растяжении и сжатии, а поперечное усилие, наоборот, принимает на себя средний слой, так как внешние слои из-за своей небольшой толщины не способны воспринимать поперечную нагрузку. Таким образом, усилие сдвига действует на средний слой, который и обеспечивает несущую способность всей трехслойной конструкции. С увеличением его прочности на сдвиг возрастает жесткость всей панели. Отметим, что при профилированных внешних слоях панели, собственная изгибная жесткость металлических обшивок не может быть проигнорирована, поэтому поперечная нагрузка распределяется иначе. Одна часть изгибающего момента и поперечного усилия воспринимается непосредственно обшивками, а другая – всей панелью: верхним внешним слоем воспринимаются усилия сжатия, нижним – растяжения и средним – сдвига [9]. Чтобы средний слой панели мог полностью выполнять свою основную роль, а именно – воспринимать сдвигающие усилия и тем самым обеспечивать устойчивость внешних слоев, соединение между ними должно обладать достаточной прочностью (т. е. должна быть обеспечена высокая степень адгезии).

Для описания механических характеристик сэндвич-панелей обычно прибегают к теории балок с некоторыми изменениями. Обычную теорию двутавровой балки необходимо дополнить эффектами обусловленными «сдвиговыми» характеристиками сердечника сэндвич-панели. Рассмотрим «балку» из сэндвич-панели с одинаковыми облицовками толщиной δ , однородным средним слоем из ППУ толщиной $d-2 \cdot \delta$ и длиной L (см. Рисунок 14). В первую очередь, надо определить изгибную жесткость сэндвич-панели D . Если для обычной балки изгибная жесткость определяется как произведение модуля упругости (эластичности) на момент инерции I , то в случае сэндвич-панели изгибная жесткость будет состоять из суммы жесткостей отдельных составляющих, взятых относительно центральной оси (см. Рисунок 14. справа).

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

где E_F и E_C – модули упругости металлических листов и полиуретанового сердечника соответственно, остальные величины соответственно Рисунку 13.

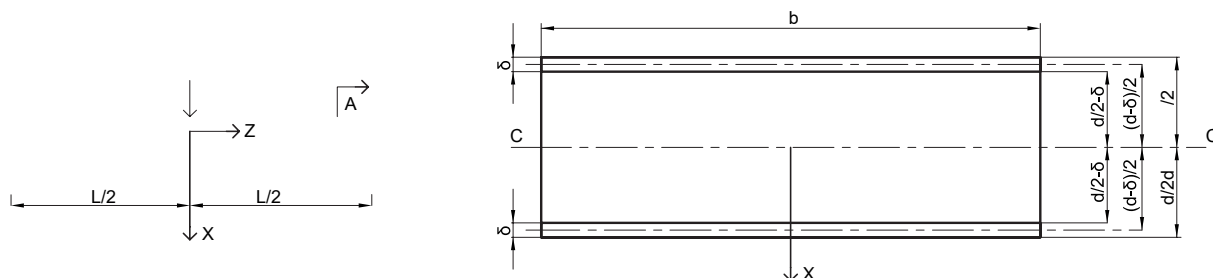


Рисунок 13: Сэндвич-панель как балка (основные обозначения).

Первое слагаемое в выражении (10) соответствует изгибной жесткости металлических обшивок относительно их собственной центральной оси, второе слагаемое выражает изгибную жесткость металлических листов относительно центральной оси панели, третье же слагаемое описывает жесткость полиуретанового сердечника относительно собственной оси, которая, в принципе, совпадает с центральной осью панели в целом. Вклад первого слагаемого в выражении (10) составляет менее 1% от вклада второго слагаемого при выполнении следующего условия:

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

Т.е. при выполнении условия (11) можно записать:

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

Даже для самой тонкой сэндвич-панели толщиной 40 мм величина и формула (12) верна.

Из-за предполагаемой малости толщины металлических обшивок по сравнению с толщиной сэндвич-панели $\delta / d \ll 1$, первое слагаемое в формуле (10) пренебрежимо мало по сравнению с двумя последними и может быть проигнорировано.

Вклад второго слагаемого в формуле (12) составляет менее 1% от вклада первого слагаемого, если:

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

При нагрузках в панели возникают также силы напряжения, которые также можно описать классической теорией балок с некоторыми допущениями. Выше «нейтральной» оси С-С в процессе изгиба возникают силы сжатия, а ниже оси С-С силы растяжения

$$\varepsilon_x = \frac{M \cdot x}{D} \quad (14)$$

где ε_x – растяжение или сжатие на расстоянии x от нейтральной оси С-С, M – сдвигающий момент и D – изгибная жесткость панели.

Чтобы получить силу напряжения, возникающую при изгибе сэндвич-панели, величину деформации (14) мы должны умножить на модуль упругости. Так как сэндвич-панель является неоднородной структурой, то это произведение должно быть записано относительно различных частей панели (см. Рисунок 14):

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

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

Здесь уже σ_m – напряжение в металлических поверхностях панели, σ_p – напряжение в полиуретановом сердечнике. Максимальные напряжения получаются при максимальных значениях x в указанных пределах:

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

Несущие свойства сэндвич-панелей можно определять из максимально допустимого отклонения панели при разного рода нагрузках и описывается соотношением [2], [10], [11]:

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

Где F – приложенная сила, $E_F \cdot J_F$ – произведение модуля упругости стальных обшивок на их момент инерции (или иначе - изгибная жёсткость металлических обшивок), G_C – модуль сдвига пенополиуретанового сердечника, S - площадь поперечного сечения сердечника.

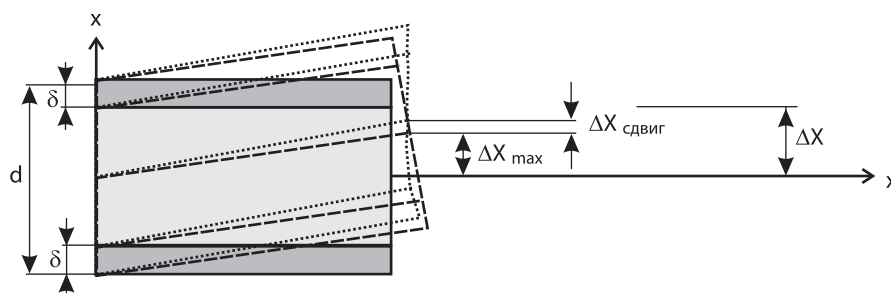
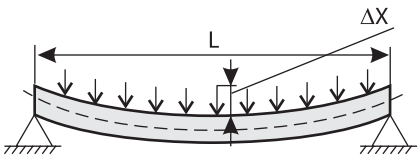
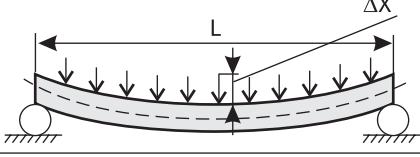
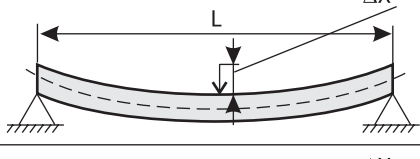
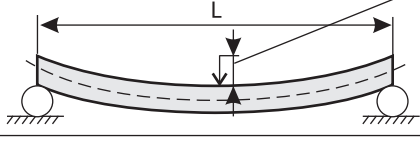


Рисунок 14: Изгиб трехслойной панели.

Как видно из рисунка (см. Рисунок 14), суммарное отклонение панели обуславливается изгибом и сдвигом. В приведённом выше выражении, первое слагаемое, хорошо известное из теории балок, отражает изгиб панели, а второе описывает её сдвиг, обусловленный сдвигом сердечника. Коэффициенты k_1 и k_2 зависят от «граничных условий» и определяются из следующей таблицы:

Схема нагрузки	k_1	k_2	Описание
			Равномерно распределенная нагрузка. Концы закреплены.
			Равномерно распределенная нагрузка. Концы свободны.
			Локализованная в центре нагрузка. Концы закреплены.
			Локализованная в центре нагрузка. Концы свободны.

Для момента инерции J и площади поперечного сечения утеплителя имеем $S=118,5 \cdot (d-2\delta)$, где 118,5 – это ширина панели в см., δ – толщина металлической обшивки, d – толщина панели. Отметим, что здесь и далее для простоты мы подразумеваем металлические обшивки панели гладкими, т.е. непрофилированными. Момент инерции профилированных листов гораздо больше (зависит от глубины профилировки), что придаёт панелям дополнительную жёсткость. Одним из основных показателей, характеризующих упругие свойства сэндвич-панелей является модуль сдвига среднего слоя панели, т. е. в данном случае ППУ.

Этот важный параметр, влияющий на упругие свойства сэндвич-панели, согласно EN 14509, определяется в результате испытаний на изгиб при четырехточечном воздействии.

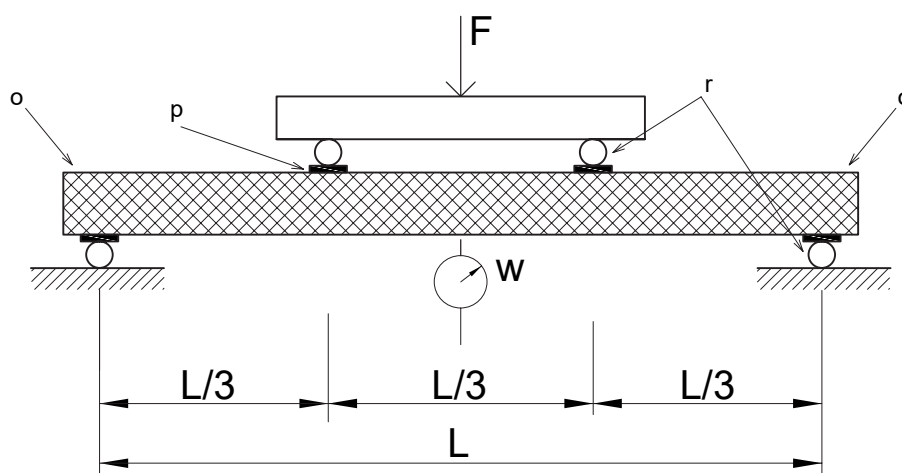


Рисунок 15: Устройство для испытания на прогиб при 4-точечном воздействии. F – приложенная сила, r – валики радиусом 15 мм., w – измеряемый изгиб панели, p – грузораспределительные пластины толщиной 8 – 12 мм и шириной L_s , o – выпуск испытываемой панели не превышающий 50 мм.

Ширина грузораспределительных пластин L_s должна составлять 60 – 100 мм для предотвращения местного сдавливания обшивок панели.

Модуль сдвига среднего слоя G_c рассчитывают по формулам:

$$B_s = \frac{E_{F1} A_{F1} E_{F2} A_{F2}}{384 \cdot E_F \cdot J_F} \cdot e^2 \quad \text{жесткость при изгибе;}$$

$$\Delta X_B = \frac{\Delta F L^3}{56,34 B_s} \cdot (1 - \beta) \cdot (1 + k) \quad \text{деформация, обусловленная изгибом;}$$

$$\Delta X_s = \Delta X - \Delta X_B \quad \text{деформация сдвига;}$$

$$G_c = \frac{\Delta F L}{6 b d_c \Delta X_s} \quad \text{модуль сдвига.}$$

здесь

E_{F1} – модуль упругости верхней обшивки;

A_{F1} – измеренная площадь поперечного сечения верхней обшивки;

A_{F2} – измеренная площадь поперечного сечения нижней обшивки;

E_{F2} – модуль упругости нижней обшивки;

e – измеренное расстояние между центрами тяжести обшивок т.е. $(d/2 - \delta/2)$,
(см. Рисунок 13);

ΔX – прогиб в середине пролета при увеличении нагрузки ΔF , рассчитываемой по уклону линейного отрезка кривой зависимости нагрузки и деформации;

d_c – толщина среднего слоя ($d_c = d - (\delta_1 + \delta_2)$), т.е. толщина панели за вычетом толщины обеих обшивок);

b – измеренная ширина образца;

Согласно проведенным в лаборатории DowChemical испытаниям, модуль сдвига для маленьких образцов ППУ составляет 21 кг/см², измеренный согласно DIN 53294-1982. Однако, для сэндвич-панелей существенна интегральная характеристика модуля сдвига, определенная именно методом четырехточечного воздействия (Рисунок 15).

Согласно проведенным испытаниям, модуль сдвига G_c для ППУ панелей лежит в пределах 40 – 45 кГс/м². Во всех вычислениях мы учитываем прогиб панели под воздействием равномерно распределённого собственного веса, т.е. под нагрузкой мы понимаем чисто внешнюю нагрузку, действующую вертикально вниз на горизонтально расположенную панель. Температуру на поверхностях сэндвич-панели здесь мы считаем одинаковой. Согласно [12], допустимый прогиб самонесущих потолочных и кровельных панелей, по которым допускается нахождение только одного человека во время монтажа, принято считать равным $L/200$ (где L – длина пролёта). Для фасадных и стеновых панелей допустимым считается прогиб $L/100$ [12]. Принимая $x = L/200$, для допустимой нагрузки получим следующие значения, приведённые в Таблицах 19–22.

Таблица 19: Допустимые нагрузки для строительных панелей ПрофХолод при равномерно распределённой нагрузке с закреплёнными концами.

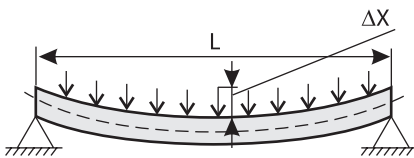
Толщина панели, мм	Допустимая нагрузка (нетто) кгс/м ²					Схема нагружения. (допустимый прогиб принят L/200)
	Длина панели, м					
	2	3	4	5	6	
40	141	82	52	33	21	
50	183	109	71	48	33	
60	224	136	91	63	44	
80	307	191	131	94	69	
100	390	246	171	125	94	
120	473	301	212	157	120	
140	556	356	253	189	146	
150	598	383	273	206	160	
160	640	411	294	222	173	
180	723	466	335	254	199	
200	806	521	376	287	226	

Таблица 20: Допустимые нагрузки для строительных панелей ПрофХолод, при равномерно распределённой нагрузке со свободными концами.

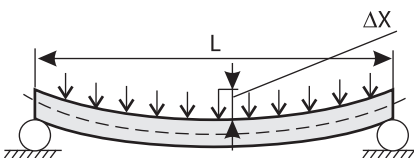
Толщина панели, мм	Допустимая нагрузка (нетто) кгс/м²					Схема нагружения. (допустимый прогиб принят L/200)
	Длина панели, м					
	2	3	4	5	6	
40	106	47	21	8	2	
50	144	68	34	16	7	
60	183	91	48	26	13	
80	263	139	79	46	27	
100	344	189	113	69	43	
120	426	241	148	94	61	
140	508	293	184	120	80	
150	549	320	202	133	90	
160	590	346	221	147	100	
180	673	399	259	175	121	
200	755	453	297	204	143	

Таблица 21: Локализованная нагрузка в середине панели с закреплёнными концами.

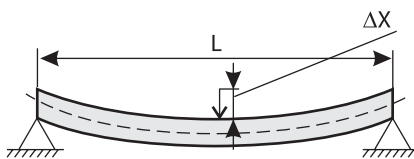
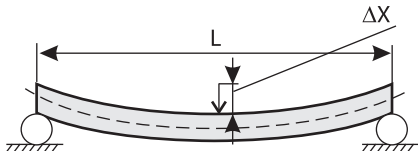
Толщина панели, мм	Допустимая нагрузка в середине панели кгс.					Схема нагружения. (допустимый прогиб принят L/200)
	Длина панели, м					
	2	3	4	5	6	
40	167	146	123	100	78	
50	216	194	170	145	119	
60	265	242	215	186	158	
80	363	339	309	278	245	
100	462	436	405	371	335	
120	560	534	502	466	427	
140	659	632	598	561	520	
150	708	680	647	608	567	
160	757	729	695	656	614	
180	856	827	792	752	708	
200	954	925	890	848	803	

Таблица 22: Локализованная нагрузка в середине панели со свободными концами.

Толщина панели, мм	Допустимая нагрузка в середине панели кГс.					Схема нагружения. (допустимый прогиб принят 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	
140	614	544	465	388	317	
150	663	591	511	430	355	
160	712	639	556	473	394	
180	810	735	648	559	474	
200	908	831	741	647	555	

Отметим ещё раз, что все приведённые выше данные в таблицах являются теоретически рассчитанными. Причём, везде в таблицах под нагрузкой подразумевается чисто внешняя нагрузка за вычетом собственного веса панели, равномерно распределённого по всей площади. Т.е., помимо нагрузок указанных выше, во всех таблицах учитывается также провисание за счет собственного веса панели, что важно для потолочных панелей. Также считается, что адгезия пенополиуретана с металлическими листами идеальна, что вообще говоря, является достаточно смелым предположением. Допустимым считается прогиб равный $L/200$ и во всех данных, как уже говорилось, учтён прогиб панели под воздействием собственного веса. Данные, приведенные в Таблице 22 очень важны для выбора возможной толщины потолочных панелей, если в процессе их монтажа предполагается производить работы находясь на самих панелях. При выборе длины пролёта потолочных панелей в этом случае необходимо учитывать, что в процессе монтажа панель должна выдержать вес монтажника плюс равномерно распределенный собственный вес.

Приведём также величины прогиба панелей только под воздействием собственного веса в зависимости от длины пролёта. Приведенная ниже таблица будет полезна при расчете потолочных панелей, если не предусматривается передвижение людей по ним ни во время монтажа, ни во время эксплуатации, и потолочные панели прогибаются только под воздействием собственного веса.

Таблица 23: Величина прогиба потолочных панелей под воздействием собственного веса, при одинаковой температуре внутри и снаружи.

Толщина панели, мм	Величина прогиба в середине, мм		Вес панели в кг
	Длина пролёта панели = 6м		
	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 в добавок к указанным величинам у панели может быть изначальное допустимое отклонение, равное 1/500 ее длины.*

Отметим также, что по общепринятым Европейским нормам EN 14509 [8] допускается начальный прогиб панели, составляющий 1/500 ее длины.



Рисунок 16: Наглядная демонстрация “несущих” свойств сэндвич-панелей со средним слоем из ППУ (суммарная нагрузка 320 кг, толщина 100мм, длина панели 6м).

§ 2.3 РАЗРУШАЮЩЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ИЗГИБЕ.

Как мы уже отмечали, при поперечной нагрузке в панели возникает момент сил, который приводит к сжатию верхнего слоя панели и к растяжению нижнего слоя. Напряжение сжатия в верхней обшивке сэндвич-панели определяется формулой (см. формулу 17).

$$\sigma_m^{\max} = \frac{M \cdot d}{2D} E_F = \frac{M \cdot d}{b \cdot \delta \cdot (d - \delta)^2} \quad (20)$$

Выше мы привели теоретические величины для т. н. «допустимых» значений нагрузок, при которых изгиб панели составляет 1/200 часть ее длины. Однако на самом деле нагрузка ограничивается некой критической величиной, при которой происходит «разрушение» панели.

Наиболее часто встречается повреждение, при котором образуется «складка» на верхней обшивке панели или другими словами, смятие (Рисунок 17). Напряжение, при которой происходит смятие $\sigma_{\text{скл}}$, можно вычислить по формуле [2], [8], [10]:

$$\sigma_{\text{скл}} = k \sqrt[3]{E_F E_C G_C}. \quad (21)$$

Как и прежде, здесь E_F – модуль упругости стальных обшивок, E_C – модуль упругости полиуретанового сердечника и G_C – модуль сдвига сердечника.



Рисунок 17: Образование складки на поверхности сэндвич-панели при сжатии верхнего слоя.

Принято считать, что эмпирический коэффициент k , по-видимому, определяющий «качество панели» зависит от способа производства панели [11]:

- $k=0,65$ для сэндвич-панелей с ППУ при непрерывном способе производства;
- $k=0,5-0,65$ для всех остальных сэндвич-панелей в том числе и панелей из минваты и панелей из ППУ при периодическом способе производства.

Согласно Евростандарту EN 14509 [8] предлагается считать $k=0,5$ для всех типов сэндвич-панелей.

Момент сил, возникающий при воздействии на незакрепленную панель поперечной равномерно распределенной силы F может быть вычислен по формуле :

$$M = \frac{F \cdot L}{8} \quad (22)$$

где F – полная действующая сила, включая собственный вес панели, а L – длина панели. Комбинируя формулы 20 и 22, для величины напряжения имеем:

$$\sigma_m = \frac{F \cdot L \cdot d}{8 \cdot \delta \cdot b \cdot (d - \delta)^2} \quad (23)$$

Отсюда уже легко получить для «разрушающей» силы, приводящей к смятию верхнего слоя верхнего слоя сэндвич-панели:

$$F = \frac{8 \cdot b \cdot \delta \cdot (d - \delta)^2}{L \cdot d} \cdot k \cdot \sqrt[3]{E_f E_c G_c} \quad (24)$$

Отметим еще раз, что выражение (24) верно если панель считается не закрепленной и F – полная сила, действующая на панель, включая собственный вес.

Таблица 24: Разрушающая сила (кГс) для панелей разной толщины при длине 3 м, 6 м. (В таблице указана чисто внешняя сила за вычетом веса панели).

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

В приведенных выше значениях разрушающей силы так же панель считается просто опертой на опоры, а не закрепленной.

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

Приведенные в § 2.3 расчеты хоть и носят исключительно теоретический характер, однако дают хорошее представление относительно прочностных характеристиках сэндвич-панелей с наполнителем из пенополиуретана. На практике же, внешние стены сооружений принимают на себя в основном температурные и ветровые нагрузки.

Влияние разности температур мы уже рассмотрели в § 2.1. Здесь же рассмотрим действие ветровых нагрузок на закрепленную панель. Давление ветра на стеновую панель определяется формулой Бернулли:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2, \quad (25)$$

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

При проектировании зданий из сэндвич-панелей необходимо руководствоваться СНиП 2.01.07-85. «Нагрузки и воздействия», где детально объясняется методы расчета ветровой нагрузки в зависимости от местности строительства, высоты сооружения и т.д. Здесь же мы остановимся на оценках допустимой равномерно распределенной нагрузки на вертикально закрепленную стеновую сэндвич-панель. В сущности, с некоторыми допущениями, ветровую нагрузку можно считать равномерно распределенной нагрузкой и поэтому результирующий изгиб панели будет определяться по формуле:

$$\Delta x = \frac{5 \cdot F \cdot L^3}{384 \cdot E_F \cdot J_F} + \frac{F \cdot L}{8 \cdot E_C \cdot S_C}. \quad (26)$$

И из расчета надо исключить воздействие собственного веса панели, поскольку он действует в перпендикулярном направлении. Согласно Европейским рекомендациям по сэндвич-панелям [12], за допустимую нагрузку для стеновых панелей принято считать нагрузку, при которой прогиб панели составляет не более $L/100$ (где L – длина панели) [12].

Таблица 25: Допустимые нагрузки на стеновую однопролетную панель.

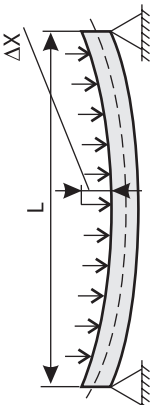
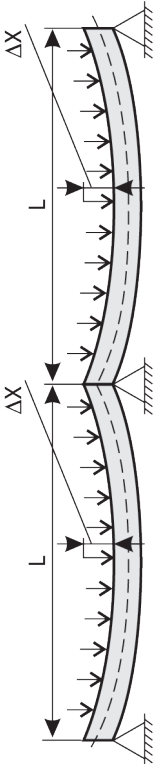
Толщина, мм	Допустимая ветровая нагрузка кгс/м ²					Схема нагружения Допустимый прогиб принят за L/100
	Длина пролета панели, м					
	2	3	4	5	6	
40	264	126	67	39	25	
50	355	176	97	58	37	
60	448	230	131	80	51	
80	638	344	203	128	85	
100	831	463	282	182	123	
120	1026	585	365	240	165	
140	1220	710	452	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 26: Допустимые нагрузки на стеновую двухпролетную панель.

Толщина, мм	Допустимая ветровая нагрузка кгс/м ²					Схема нагружения Допустимый прогиб принят за 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	

Например, при скорости ветра $v=20$ м/сек величина ветровой нагрузки составит:

$$P_0 = \frac{1}{2} 1,25 \cdot 20^2 \text{ (кгс/м} \cdot \text{с}^2\text{)} = 250 \text{ н/м}^2 = 25 \text{ кгс/м}^2 \quad (27)$$

Для примера, панель длиной 6м и толщиной 100 мм отклонится при такой нагрузке на 6мм.

Согласно СНиП 2.01.07-85. «Нагрузки и воздействия», силу ветра необходимо считать с некоторыми поправочными коэффициентами:

$$P = P_0 \cdot C_e(z) \cdot C_p, \quad (28)$$

где $C_e(z)$ – коэффициент зависящий от категории местности и высоты, а C_p – некий аэродинамический коэффициент, зависящий от формы постройки и т. д. В СНиП 2.01.07-85. даны подробные указания о методах вычисления этих поправочных коэффициентов в зависимости от местоположения, причем под местоположением имеется в виду не только географическая широта, но и локальное расположение постройки - ее близость к морю, к другим постройкам, к горам и пр. Определив, согласно СНиП 2.01.07-85, ветровую нагрузку для данного региона и местности можно подобрать длину стеновой панели заданной толщины по таблице допустимых нагрузок (см. *Таблицу 25*).

§ 2.5 НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КРОВЕЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ.

Кровельные панели существенно отличаются от стеновых панелей тем, что одна из поверхностей является глубоко профилированной и это обстоятельство должно быть обязательно учтено в расчетах (см. Рисунок 10).

Несущим характеристикам профилированных панелей посвящено огромное количество теоретических исследований [2], [11], [10]. Все они основаны на довольно сложных математических выкладках, которые мы здесь не будем приводить, а обратимся к «приближенной» теории [2], основанной на довольно простом, но наглядном предположении, что приложенная нагрузка распределяется между двумя «независимыми» частями сэндвич-панели: первая часть соответствует «плоской части» панели, а вторая часть «ребрам». В первой части, помимо прочего, определенную роль также играет сдвиг среднего слоя, в то время как в ребровой части учитывается только изгиб металлических обшивок и при этом предполагается, что обе части изгибаются одинаково.

В этом случае, согласно [2], имеем относительно простое соотношение для величины прогиба панели в ее середине при равномерно распределенной нагрузке:

$$\Delta x = \frac{5 \cdot F \cdot L^3}{384 \cdot B_c} \cdot (1 - \beta) \cdot (1 + k); \quad (29)$$

$$\beta = \frac{(1 + k) \cdot B_D}{B_c + (1 + k) \cdot B_D}; \quad k = \frac{9,6 \cdot B_s}{A_c \cdot G_{эфф} \cdot L^2}; \quad B_D = E_{F2} \cdot I_{F2}; \quad (30)$$

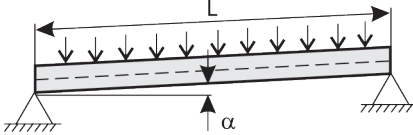
$$B_s = \frac{E_{F1} \cdot A_{F1} \cdot E_{F2} \cdot A_{F2}}{384 \cdot E_F \cdot J_F} \cdot e^2; \quad S = \frac{G_c \cdot e^2 \cdot b}{d_c} = A_c \cdot G_{эфф}, \quad (31)$$

B_s - жесткость по отношению к изгибу (изгибная жесткость), а S - жесткость по отношению к сдвигу «гладкой» части панели.

$B_D = E_{F1} \cdot I_{F1} + E_{F2} \cdot I_{F2} \approx E_{F2} \cdot I_{F2}$ - изгибная жесткость «ребровой» части, так как нижний слой мы считаем плоским. $A_c = b \cdot e$ - эффективная площадь сечения среднего слоя e - эффективная толщина среднего слоя, $E_{F1} = E_{F2}$ - модули упругости верхнего и нижнего слоев, которые в нашем случае считаются равными, G_c - модуль сдвига среднего слоя.

Ниже в Таблице 27 приведены нагрузки в кгс (НЕТТО т. е. за вычетом собственного веса), при которых однопролетная кровельная панель в середине прогибается на 1/200 часть своей длины.

Таблица 27: Допустимые значения нагрузок на кровельные панели соответствующие прогибу $L/200$ (нагрузка считается равномерно распределенной).

Толщина панели	Величина пролета L, 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	

Отметим еще раз, что в Таблице 27 величины нагрузок отнюдь не приводят к разрушению панели, а лишь соответствуют разрешенному прогибу кровельных панелей равную $1/200$ ее длины, и так как нагрузки вычислялись в предположении горизонтальной плоской кровли то при наличии наклона α данные указанные в Таблице 27 должны быть умножены на $\cos(\alpha)$.

Данные, приведенные выше в таблице, могут дать представление о величине допустимой снеговой нагрузки на кровлю из сэндвич-панелей, но для более точного расчета необходимо учитывать также возможный изгиб панели, обусловленный разностью температур на ее обшивках. Окончательный расчет допустимой снеговой нагрузки на кровельную панель сравнивают с нормативными значениями снеговой нагрузки в данной местности.

Согласно СНиП 2.01.07-85* (Воздействия и нагрузки), территория Российской Федерации подразделяется на восемь снеговых зон. Нормативные значения снеговых нагрузок в этих зонах приведены ниже:

Снеговые районы РФ	Ia	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
S_g , кгс/м ²	80	120	180	240	320	400	480	560

Величина S_g соответствует весу 1 м² снегового покрова. Расчетное значение снеговой нагрузки на кровлю вычисляют по формуле:

$$S = S_g \cdot \mu \quad (32)$$

Коэффициент μ зависит от наклона кровли. Если быть точным, то это просто и есть косинус угла наклона кровли $\cos(\alpha)$, о котором мы уже говорили, однако по СНиП 2.01.07-85* предлагается руководствоваться более жесткими требованиями и считать:

$$\begin{aligned} \mu &= 1 \text{ при углах наклона } < 25^\circ \\ \mu &= 0,7 \text{ при углах наклона от } 25^\circ \text{ до } 60^\circ \\ \mu &= 0 \text{ при углах наклона } > 60^\circ \end{aligned} \quad (33)$$

§ 2.6 ВЕРТИКАЛЬНАЯ НАГРУЗКА НА СТЕНОВУЮ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЬ.

Вопросу прочности сэндвич-панели при вертикальном (продольном) сдавливании посвящено огромное количество теоретических и экспериментальных исследований [2],[10], [8]. Здесь мы рассмотрим основные выводы этих исследований, которые показывают достаточную прочность панелей для сборки бескаркасных сооружений относительно небольшого размера. Согласно этим исследованиям, при вертикальном давлении на сэндвич-панель возможны по крайней мере следующие четыре вида деформации (см. Рисунок 18).

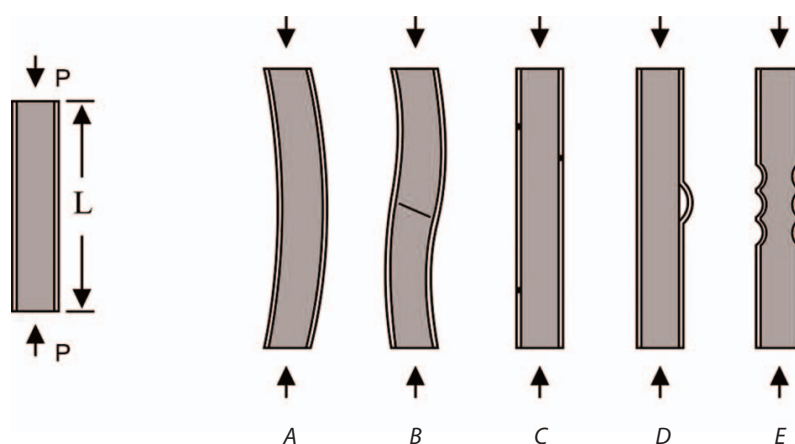


Рисунок 18: Аксиальное (продольное) давление на сэндвич-панель и возможные виды деформаций: А-общий изгиб; В-излом сердечника; С- образование «микроскладок» и вмятин на поверхности металла, D-образование складки.

Так как жесткость металлических обшивок панели во много раз превосходит жесткость сердечника из вспененного полиуретана, то так же как и в случае поперечной нагрузки, при продольном (аксиальном) давлении на сэндвич-панель, всю нагрузку принимают на себя металлические поверхности панели. Если считать сэндвич-панель идеально ровной, то возможен равномерный изгиб панели (Рисунок 18, А) вплоть до достижения критической, т. н. Эйлеровой нагрузки, при которой отклонившаяся панель уже не может вернуться в первоначальное положение и отклонение растет «до бесконечности».

$$F_A = \frac{\pi^2 \cdot B_s}{\beta \cdot L^2} = \frac{\pi^2 \cdot b \cdot \delta (d - \delta)^2}{\beta \cdot L^2} \cdot E_F. \quad (34)$$

здесь B_s - как и прежде, изгибная жесткость панели. Коэффициент β зависит от способа закрепления панели:

- $\beta=2$ если панель жестко закреплена внизу
- $\beta=1$ если панель внизу и сверху закреплена «шарнирно»
- $\beta= 1/\sqrt{2}$ если внизу закреплена жестко, а наверху «шарнирно»
- $\beta=1/2$ если панель и внизу и сверху закреплена жестко

«Излом» сердечника определяется его модулем сдвига:

$$F_A = b \cdot (d - \delta) \cdot G_C. \quad (35)$$

здесь, как и прежде b – ширина панели (в нашем случае 1185 мм.) δ – толщина металлического листа ($\approx 0,5$ мм.), G_C – модуль сдвига сердечника (пенополиуретана).

Заметим сразу, что эйлеровый прогиб панели может происходить при меньшей нагрузке, чем «излом» сердечника. Хотя каждый из описанных выше видов деформации проще описать по отдельности, на практике чаще всего при достижении некоего критического значения они взаимодействуют друг с другом, что приводит к глобальному разрушению панели. Величина этой критической нагрузки определяется соотношением [2]:

$$\frac{1}{F_{cr}} = \frac{1}{F_A} + \frac{1}{F_B}. \quad (36)$$

Таблица 28: Критическая разрушающая сила для вертикально нагруженной панели, приводящая к глобальному изгибу (разрушению).

Толщина, мм	Fcr (при $\beta=2$)		
	L = 2,5 m	L = 3 m	L = 6 m
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 же складки или смятие панели, как уже описывалось, имеет место при достижении некоего критического значения напряжения (21). Если считать вертикально установленную панель идеально ровной и закрепленной внизу (исключая вращение и кручение), то критической нагрузкой, приводящей к смятию (образованию «складки») панели следует считать величину

$$F_C = 2 \cdot \delta \cdot b \cdot k \cdot \sqrt{E_C \cdot E_F \cdot G_C} \approx \delta \cdot b \cdot \sqrt{E_C \cdot E_m \cdot G_C} \approx 6620 \text{ кгс}. \quad (39)$$

если, конечно, скорее не наступит глобальное разрушение панели. В выражении (37), как и прежде, обшивки панели считаются одинаковыми и $k=0,5$.

ГЛАВА 3. ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ С СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЯМИ. РЕЗКА ПАНЕЛЕЙ. ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ.

§ 3.1 РЕЗКА ПАНЕЛЕЙ.

Сандвич-панели PUR Classic/PIR Premier строго рекомендуется резать электрическим лобзиком или циркулярной пилой со специальным режущим диском для сандвич-панелей. Только в этом случае гарантируется ровная линия отреза без больших зазубрин (см. фотографии Рисунки 19, 20). Причём, панели необходимо резать до удаления с их поверхности защитной полиэтиленовой плёнки.

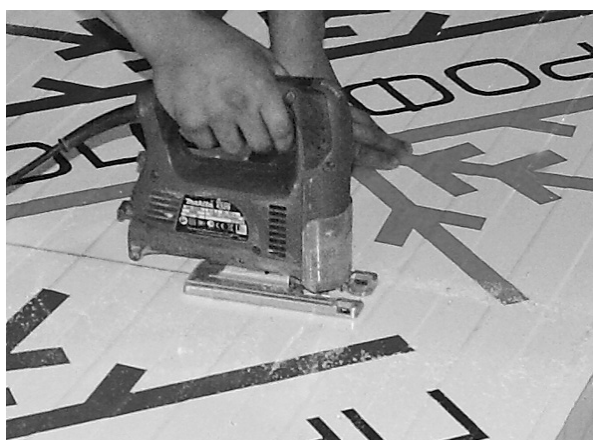


Рисунок 19: Резка панели электрическим лобзиком и получаемая при этом линия реза.

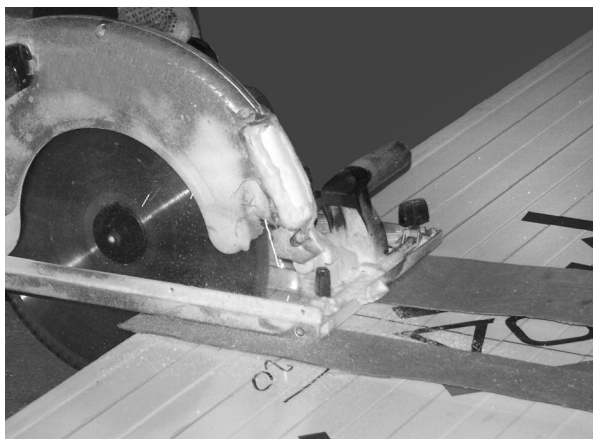


Рисунок 20: Резка панелей циркулярной пилой со специальным диском для сандвич-панелей (справа показана «идеальная» линия реза).



**Категорически запрещается резка панелей
при помощи углошлифовальной
машинки!**

§ 3.2 УПАКОВКА, ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ.

Заводская упаковка панелей, в случае соблюдения соответствующих требований настоящих инструкций, исключает повреждение панелей в процессе погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки. Пакет панелей укладывают на бруски из плотного пенопласта толщиной 9 см и плотностью от 20 кг/м³. Количество брусков зависит от длины панелей. В зависимости от дальности транспортировки в компании ПрофХолод панели упаковываются четырьмя разными способами:

1	Упаковка для хранения	Пачка с панелями обматывается стрейч-пленой в два слоя по всей длине с перехлестом пленки в слое 25-35% от ширины.
2	Легкая транспортная упаковка	Получившуюся пачку обматывают стрейч-пленкой в два слоя по всей длине с перехлестом пленки в слое 25-35% от ширины ролика.
3	Транспортная упаковка	1. Панели укладываются в пачках на полистирольные блоки 2. Получившуюся пачку обматывают стрейч-пленкой в два слоя по всей длине с перехлестом пленки в слое 25-35% от ширины ролика. 3. Пачку стягивают ПВХ-лентой, пропуская ее по длине полистирольного бруска и на углах под ПВХ-ленту устанавливают пластиковые уголки.
4	Максимальная транспортная упаковка	1. Панели укладываются в пачках на полистирольные блоки. 2. Получившуюся пачку обматывают стрейч-пленкой в два слоя по всей длине с перехлестом пленки в слое 25-35% от ширины ролика. 3. Пачку стягивают ПВХ-лентой, пропуская ее по длине полистирольного бруска и на углах под ПВХ-ленту устанавливают пластиковые уголки. 4. На четыре угла пачки устанавливаются вертикальные металлические уголки толщиной 0,8мм с вставками ДВП 5. Металлические уголки стягиваются ПВХ-лентой по длине пачки.

В местах контакта упаковочной ленты с краями замка дополнительно под упаковочную ленту укладывают пластиковые или картонные упаковочные уголки, а вертикальные углы всей стопки защищаются уголком из оцинкованного металла толщиной 0,45 мм. Далее весь пакет целиком обматывается стрейч-плёнкой и снабжается упаковочным листом с указанием номера заказа, марки панелей и общего веса.



Рисунок 21: Заводская упаковка сэндвич-панелей.

Напомним также, что металлические поверхности каждой панели защищены плёнкой, которая удаляется только после монтажа отдельной панели.

В Таблице 29 приведены количество стеновых и кровельных панелей в заводской упаковке в зависимости от толщины панелей и ориентировочный вес погонного метра. Транспортировка панелей в заводской упаковке может осуществляться любым видом транспорта, обеспечивающим сохранность изделий упаковки. Перенос пакетов может выполняться строительным или автокраном, а также вилочным погрузчиком. Запрещено перемещение или подталкивание пакетов острыми вилами погрузчика. При переносе пакетов запрещается использование стального троса или проволоки. Для пакетов применять только мягкие стропы соответствующего размера и типа. При поднятии пакета обращать внимание на центр тяжести. Всегда поднимать и переносить только один пакет одновременно. Разгрузка пакетов с панелями из автомобиля осуществляется через боковой борт. Упаковки выгружаются на ровную, заранее подготовленную поверхность. От поперечного и продольного смещения устанавливаются бруски между пакетами. Во время транспортировки водитель должен проверять стабильность груза и плотность связки. В случае ослабления связок их необходимо вновь затянуть.

Таблица 29: Стандартная заводская упаковка панелей ПрофХолод.

Тип	Толщина панелей	Количество штук в упаковке	Высота упаковки, мм	Вес 1м. упаковки кг
Стеновые	40	28	1210	328
	50	22	1190	268
	60	18	1170	228
	80	14	1210	190
	100	11	1190	160
	120	9	1170	140
	140	8	1210	132
	150	7	1140	118
	180	6	1170	110
	200	5	1090	96
		6	1290	116
Кровельные	40	18	1170	182
	60	14	1210	153
	80	10	1090	118
		12	1290	142
	100	8	1050	101
		10	1290	126
	120	8	1210	107
	150	6	1110	81

На пакете присутствует транспортная этикетка, содержащая информацию о номере заказа, номенклатурное название панелей, включающее длину, толщину и виде стальных обшивок панелей.

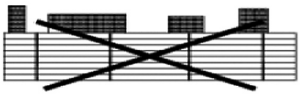
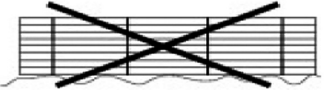
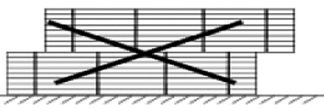
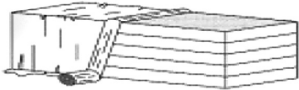
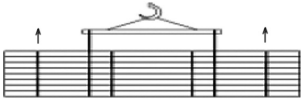
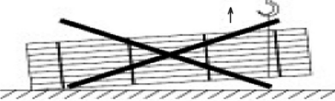
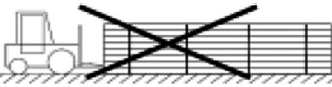
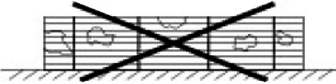
При перевозке и хранении запрещается установка других грузов на поверхность пакетов, что может вызвать различные повреждения на готовых изделиях. При наличии в заказе фасонных элементов, они должны быть упакованы отдельно и не соприкасаться при транспортировке с поверхностью панелей.

Прежде чем приступать к разгрузке панелей, грузополучатель должен проверить состояние заводской упаковки. При обнаружении повреждений необходимо составить акт,

на котором подписываются представители грузополучателя и перевозчика.

Панели в пакетах следует хранить в заводской упаковке, обеспечивающей водонепроницаемость пакета, в складах открытого или полужакрытого типа, исключающих прямое воздействие атмосферных осадков на панели, с соблюдением установленных мер противопожарной безопасности. Во время промежуточного хранения на открытых площадках панели необходимо защищать от прямых солнечных лучей, пыли и атмосферных осадков.

Таблица 17: Основные рекомендации по хранению сэндвич-панелей.

	Предотвращать попадание влаги на панели. Проверять целостность упаковки.
	Запрещается складирование на поверхности панелей каких либо предметов.
	Склаживать панели только на ровной поверхности.
	Не складировать упаковки панелей в два яруса со смещением.
	Не ходить по панелям.
	Защищать панели от прямых солнечных лучей.
	Поднимать упаковки панелей только по одному.
	Не поднимать упаковки панелей за один край.
	Запрещается передвигать панели толканием.
	Не допускать загрязнение панелей.

Упакованные пакеты с панелями следует складировать на стройплощадке на заранее подготовленной ровной поверхности. Упаковки с панелями запрещается толкать или тащить, так как в этом случае можно повредить их поверхность. Пакеты укладываются в один или в два яруса, суммарная высота которых не должна быть более 2,4 м. Желательно обеспечить небольшой уклон для того, чтобы в случае дождя вода не скапливалась на поверхности упаковки. В таблице 17 схематично представлены основные рекомендации по хранению сэндвич-панелей.

ГЛАВА 4. БЕСКАРКАСНЫЕ КАМЕРЫ ИЗ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ.

§ 4.1 СТАЦИОНАРНЫЕ И СБОРНО-РАЗБОРНЫЕ КАМЕРЫ ИЗ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.

До сих пор мы рассматривали сэндвич-панель исключительно в качестве ограждающей конструкции, монтируемой на прочный каркас из металлоконструкций, основной функцией которой является передача ветровых и прочих нагрузок на этот самый прочный каркас.

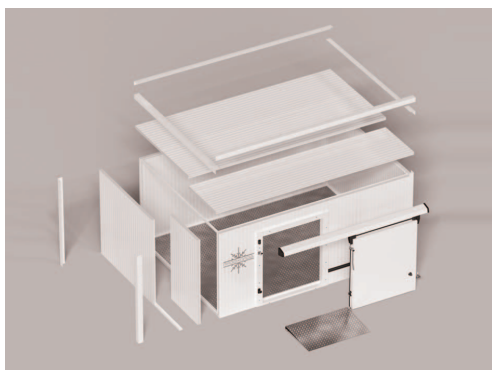


Рисунок 22: Сборно-разборная холодильная камера из сэндвич-панелей с эксцентриковыми замками.

Однако, как уже было отмечено, сэндвич-панели обладает и некоторыми самонесущими свойствами, делающими возможным строительство из них бескаркасных камер, таких как: холодильные (морозильные камеры), а также климатические комнаты небольшого размера.

Холодильные и морозильные камеры, а также климатические комнаты (в частности, так называемые, «цветочные камеры») предлагаемые Компанией ПрофХолод – это сборные конструкции из сэндвич-панелей и фасонных элементов, предназначенные для поддержания заданной температуры в замкнутом объеме.

Вообще говоря, холодильные камеры могут быть как сборно-разборными, так и стационарными. Сборно-разборные холодильные и морозильные камеры собираются из сэндвич-панелей со встроенными эксцентриковыми замками для стягивания панелей между собой. На сегодняшний день сборно-разборные (с эксцентриковыми замками) камеры составляют почти 50% современного рынка холодильных камер. Их успех обусловлен тем, что из стандартных панелей можно легко собрать камеру соответствующего размера (существует некий ряд размеров), установить её практически в любом месте и при необходимости быстро разобрать и перенести в другое место. Стационарные же камеры,



Рисунок 23: Стационарная холодильная камера из строительных сэндвич-панелей.

при кажущейся сложности специалистами с учётом всех особенностей эксплуатации, дают экономию по стоимости, времени монтажа и занимаемой площади. Помимо всего прочего такие камеры не имеют ограничений по размерам и форме и при правильном монтаже значительно превосходят «эксцентриковые» сборно-разборные по термоизоляционным качествам. Компания ПрофХолод имеет богатый опыт по проектированию и сборке стационарных холодильных камер. Полный комплект камеры состоит из стеновых, половых и потолочных панелей, дополненных «фасонными» элементами из металла того же типа и цвета, что и

обшивки панелей.

По желанию клиента комплект камеры снабжается также такими расходными материалами, как скрепляющие саморезы для фасонных элементов, анкерные болты, силиконовый герметик и монтажная пена. Благодаря своим техническим характеристикам и специальной конструкции, наши стационарные камеры не только гарантируют наилучшую термоизоляцию, но и отвечают всем высоким стандартам по защите окружающей среды и гигиеническим требованиям для хранения пищевых продуктов.

§ 4.2 ХОЛОДИЛЬНЫЕ КАМЕРЫ НА ФАСОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПОРЯДОК СБОРКИ.

Холодильные камеры, собранные из сэндвич-панелей и фасонных элементов из оцинкованной стали толщиной 0,5 мм, являются самонесущими конструкциями и при правильной сборке (без «мостиков холода») гарантирует наилучшую термоизоляцию, что значительно снижает эксплуатационные расходы. Холодильные и морозильные камеры подобного типа также отвечают всем гигиеническим требованиям для хранения пищевых продуктов. Так же, как уже говорилось, большим преимуществом таких камер, по сравнению со сборно-разборными «эксцентриковыми» камерами, является произвольность их габаритов. На Рисунке 24 представлено схематическое представление «камеры на фасонных элементах» с указанием трех основных узлов, из которых она состоит.

Комплект сэндвич-панелей и фасонных элементов для сборки подобной камеры поставляется вместе с подробным сборочным чертежом и упаковочным листом. Прежде чем приступить к сборке холодильной или морозильной камеры «на фасонных элементах», необходимо проверить комплектность всех панелей и сопутствующих элементов.

Сборка камеры начинается с предварительной подготовки места её расположения, так как для стационарной камеры последующее перемещение не предусматривается или является затруднительной процедурой.

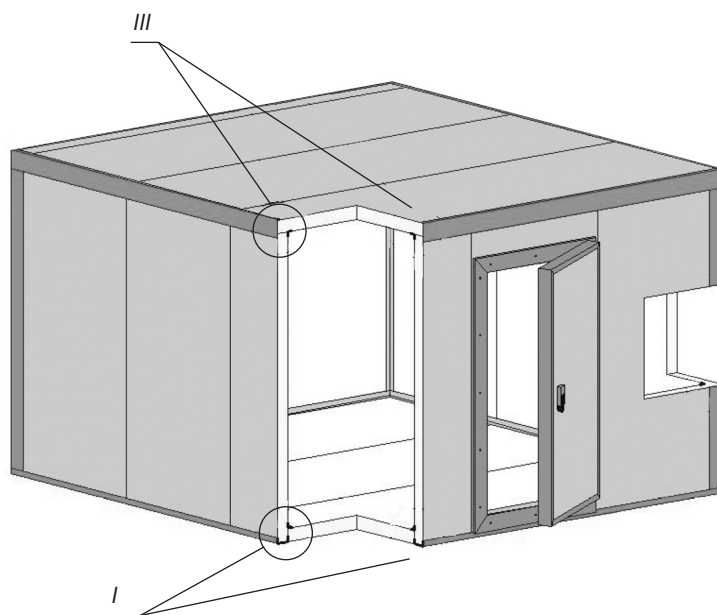


Рисунок 24: Схематическое изображение холодильной камеры ООО «ПрофХолод».

I – узел примыкания половых и стеновых сэндвич-панелей, II – узел стыковки стеновых панелей, III – стыковка потолочных панелей со стеновыми панелями (см. Рисунок 25).

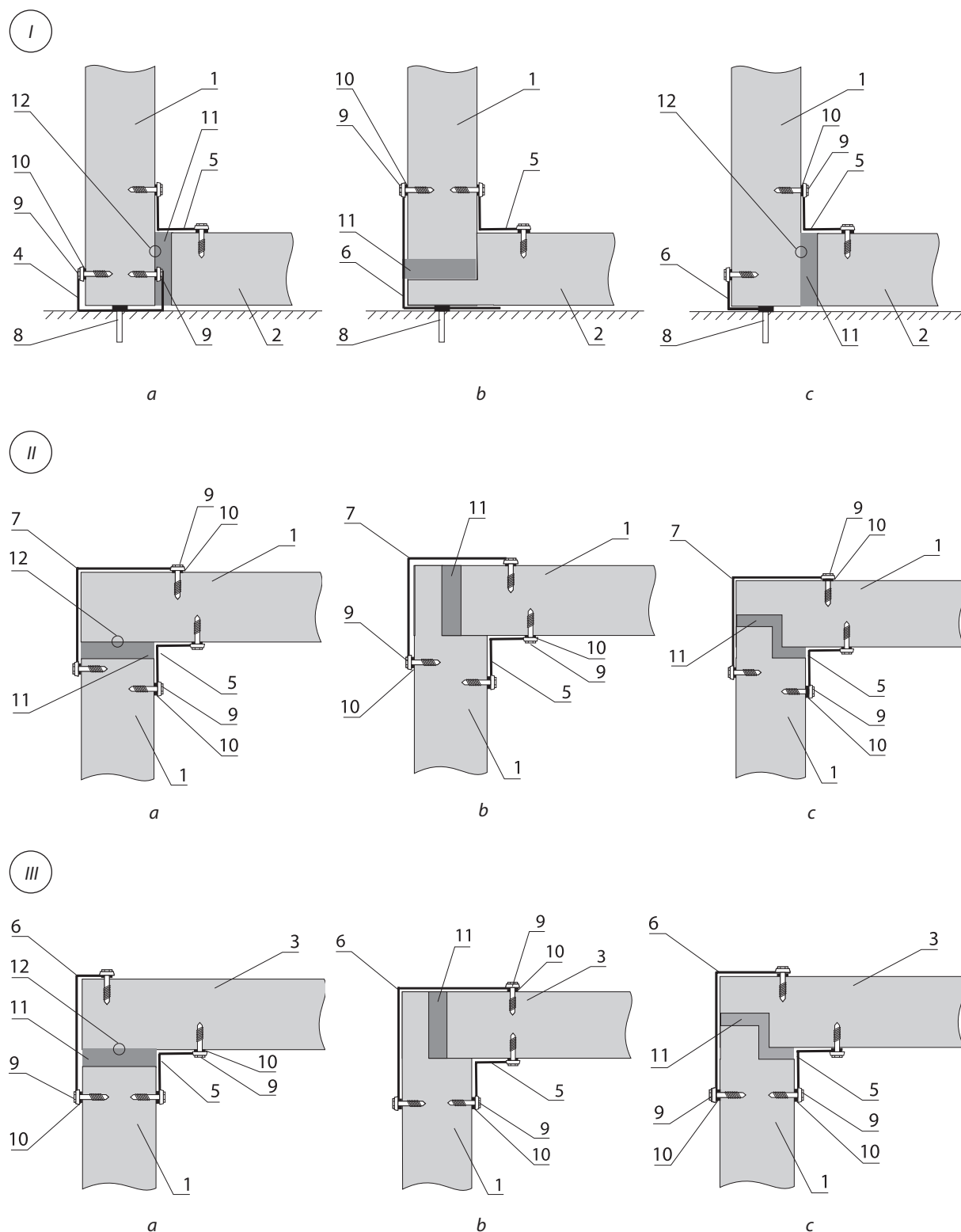


Рисунок 25: Основные узлы стыковки сэндвич-панелей для сборки холодильных камер. (начало)

I – варианты крепления стеновых и половых панелей, II – варианты крепления стеновых панелей в углах камеры, III – варианты крепления стеновых и потолочных панелей.

1 – стеновая панель, 2 – половая панель, 4 – направляющая (швеллер) для стеновых панелей, 5 – внутренний уголок 40 x 40 мм, 6 – неравносторонний, наружный, горизонтальный внешний уголок, 8 – анкер-клин d6, L=40 мм с шагом 450 мм, 9 – саморезы для крепления фасонных элементов d 4,2, L=13 мм с шагом 200 – 300 мм, 10 – герметик санитарный, 11 – монтажная пена, 12 – разрез металла для предотвращения «мостика холода», 13 – перегородочная сэндвич-панель, 14 – нащельник.

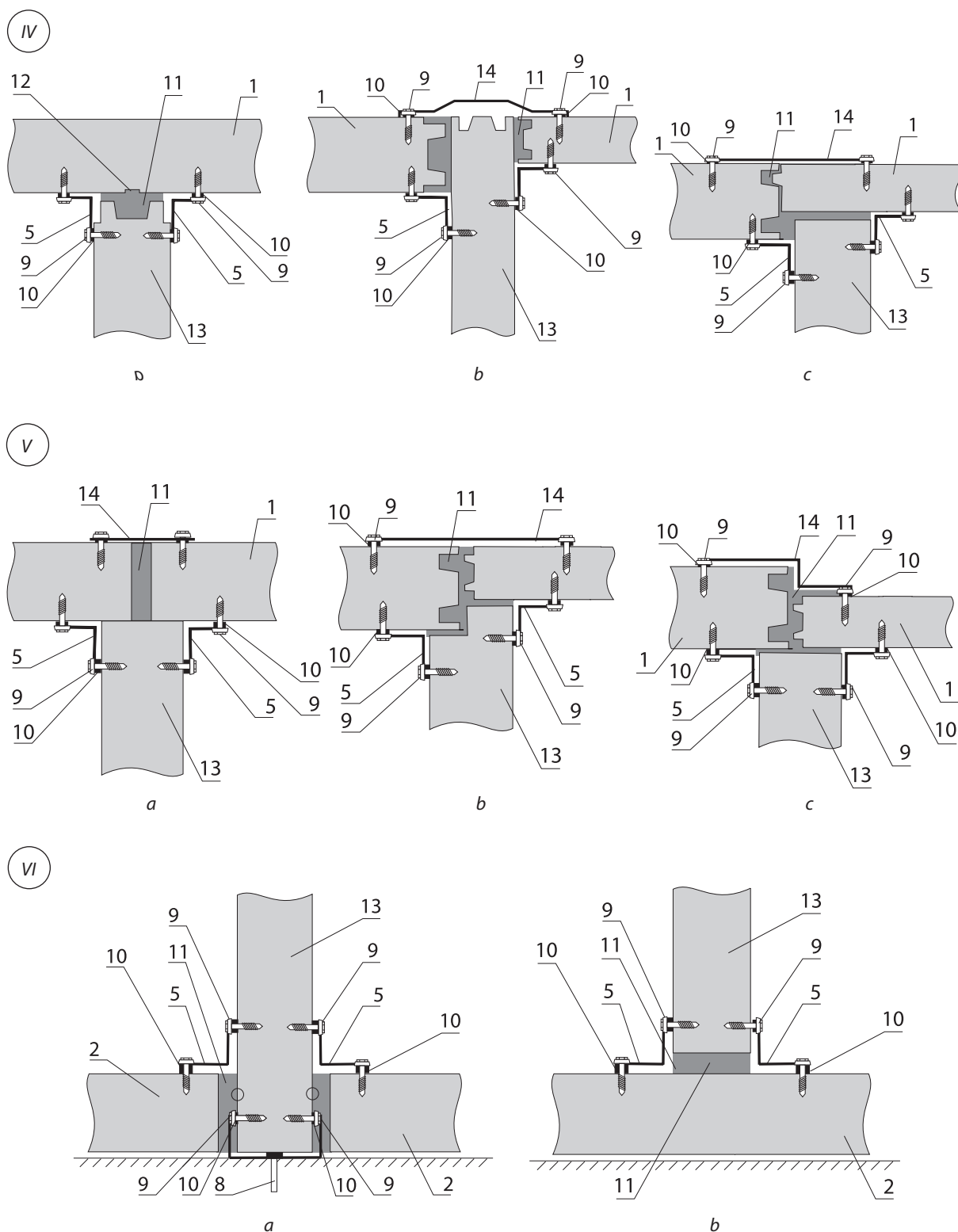


Рисунок 26: Основные узлы стыковки сэндвич-панелей для сборки холодильных камер.(окончание).

IV – варианты узлов крепления стеновых панелей с перегородочными панелями, V – узлы крепления перегородочных панелей с потолочными панелями, VI – варианты узлов стыковки перегородочных панелей с половыми панелями.

1 – стеновая панель, 2 – половая панель, 4 – направляющая (швеллер) для стеновых панелей, 5 – внутренний уголок 40 х 40 мм, 6 – неравносторонний, наружный, горизонтальный внешний уголок, 8 – анкер-клин d6, L=40 мм с шагом 450 мм, 9 – саморезы для крепления фасонных элементов d4,2, L=13 мм с шагом 200-300 мм, 10 – герметик санитарный, 11 – монтажная пена, 12 – разрез металла для предотвращения «мостика холода», 13 – перегородочная сэндвич-панель, 14 – нащельник.

По всему периметру камеры, к заранее выровненному полу (как правило, бетонному), анкерными болтами прибиваются направляющие для стеновых панелей (см. Рисунок. 25).

Возможны несколько вариантов стыковки половых и стеновых панелей с бетонным полом (см. Рисунок 25, I (А-С)). Варианты I-B и I-C предпочтительнее использовать для холодильных камер небольшого размера, так как при этом заведомо не создаются «мосты холода», в то время как металлические направляющие требуют особого монтажа панелей с разрывом «моста холода» по металлу, как показано на Рисунке 25 I-A. Для этого на внутренней поверхности металла стеновой панели делают разрез, прерывающий мост холода. Для камер с половыми панелями рекомендуется произвести разрез внутренней стороны металлической обшивки стеновых панелей на уровне чуть выше направляющей таким образом, чтобы линия среза не была выше поверхности половых панелей. Далее, начиная с произвольного угла камеры (или дверного проёма, если в комплекте имеется панель с дверным проёмом), начинают укладывать панели согласно приложенному чертежу.

Варианты стыковки стеновых панелей в углах камеры показаны на Рисунке 25 II (АС).

Укладку стеновых панелей следует вести таким образом, чтобы «шип» укладываемой панели был повернут в направлении укладки панелей. При таком порядке сборки в замок типа «паз» предварительно наносится небольшое количество монтажной пены, после чего панель устанавливается в направляющую и прижимается к уже установленной панели. Панели плотно стягиваются и фиксируются самонарезающими винтами в направляющей, при этом надо следить за вертикальностью укладываемой стены. В дальнейшем, после окончательной сборки камеры, все швы типа «шип-паз» герметизируются силиконовым санитарным герметиком. Если по прилагаемому сборочному чертежу в комплект входят разрезанные панели, то резку надо осуществлять электрическим лобзиком или циркулярной пилой со специальным режущим диском. Подобным образом режутся и половые и потолочные панели. Дверной проем так же вырезается электрическим лобзиком и обрамляется специальным П-образным элементом, который выполнен из двух металлических уголков и «стыковочного» пластикового профиля (см. Рисунок 27).

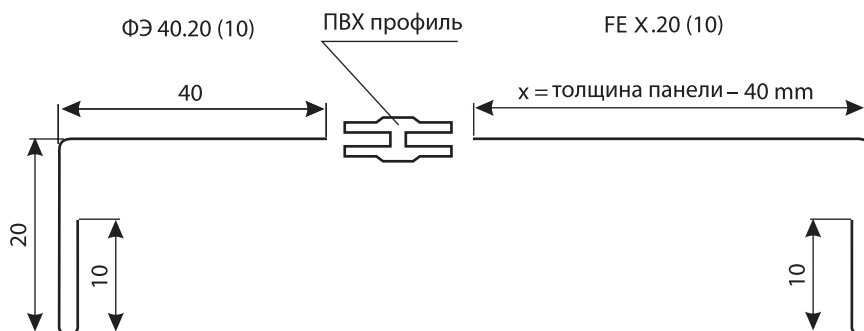


Рисунок 27: Профиль для обрамления светового проема в сэндвич-панели (сверху-чертеж с размерами, внизу фотография).

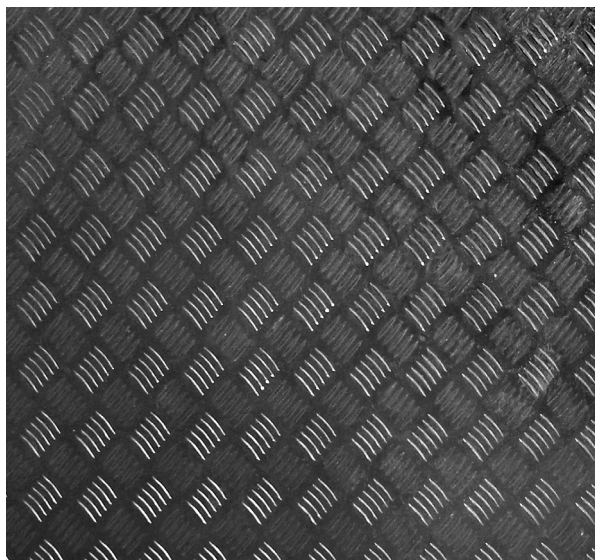


Рисунок 28: Структура листа «Квинтет» для усиленного пола

Половые и потолочные панели должны точно соответствовать одному из поперечных размеров камеры (внешней или внутренней) либо по длине камеры, либо по ее ширине (вариант укладки указывается в сборочном чертеже). Вертикальные углы камеры заделываются металлическим уголком, обычно под цвет стеновых панелей снаружи. Размер плеч вертикальных наружных уголков на 40 мм больше толщины стеновых панелей, что позволяет при любом варианте монтажа скрыть открытый торец панели. Уголки крепятся к панелям самонарезающими винтами или заклёпками. Потолочные панели стыкуются со стеновыми панелями горизонтальным уголком (см. Рисунок 25 III (А-С)). Камера может содержать несколько отделов, разделённых перегородками.

В некоторых случаях, ради экономии средств, для разных отсеков выбираются разные толщины панелей. Допустим, в одном отсеке камера может быть низкотемпературной и состоять из панелей толщиной 100 мм, а соседний отсек может быть среднетемпературной камерой и состоять из панелей толщиной 80 мм. В этом случае могут возникнуть некоторые неудобства при монтаже, но они преодолимы. Надо только знать, что является приоритетным: сохранение наружной или внутренней высоты. Все внутренние углы камеры заделываются металлическими уголками 40х40 мм, как показано на чертежах. Половые панели при необходимости можно усилить металлическими листами типа «Квинтет» толщиной 1,5–4 мм. Размеры камеры задаются заказчиком, однако, очевидно, что эти размеры ограничены несущими способностями стеновых и потолочных (или кровельных) панелей. Ограничения зависят от того, где предполагается разместить бескаркасную камеру. Если камера находится в закрытом помещении, то ветровые и снеговые нагрузки отсутствуют. Если же на открытом воздухе, то надо учитывать и ветровые и снеговые нагрузки, зависящие от конкретного региона. И в том и в другом случае надо учитывать деформацию панелей из-за разности температур на ее обшивках. Причем, эта деформация может быть как в одну, так и в другую сторону в зависимости от времени года. Однако, тем не менее, при поперечных размерах камеры свыше 6000 мм и при высоте более 4000 мм мы настоятельно рекомендуем возводить каркас из металлоконструкций. Кроме всего прочего, при сооружении камеры на открытом воздухе с потолочными панелями необходимо обеспечить 100% герметизацию потолка при помощи гидроизоляционных материалов т. к. потолочные панели не предназначены для использования в качестве кровли, однако, в некоторых случаях, вполне могут выполнять эту функцию при надлежащей гидроизоляции.

§ 4.3 ФАСОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ СБОРКИ
ХОЛОДИЛЬНЫХ КАМЕР.

Таблица 18: Направляющая (швеллер) для сэндвич-панелей.

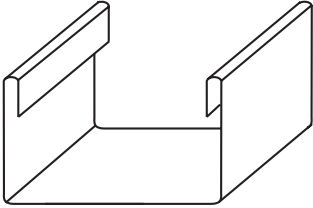
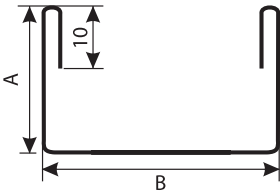
			
A	B	Обозначение	Вес 1 м, (кг)
40	42	Ш 40х42х40 Zn-0,45 (10-10)	0,50
	52	Ш 40х52х40 Zn-0,45 (10-10)	0,54
	62	Ш 40х62х40 Zn-0,45 (10-10)	0,57
	82	Ш 40х82х40 Zn-0,45 (10-10)	0,64
	102	Ш 40х102х40 Zn-0,45 (10-10)	0,71
	122	Ш 40х122х40 Zn-0,45 (10-10)	0,78
	142	Ш 40х142х40 Zn-0,45 (10-10)	0,85
	152	Ш 40х152х40 Zn-0,45 (10-10)	0,89
	162	Ш 40х162х40 Zn-0,45 (10-10)	0,93
	182	Ш 40х182х40 Zn-0,45 (10-10)	0,99
	202	Ш 40х202х40 Zn-0,45 (10-10)	1,07
50	42	Ш 50х42х50 Zn-0,45 (10-10)	0,57
	52	Ш 50х52х50 Zn-0,45 (10-10)	0,61
	62	Ш 50х62х50 Zn-0,45 (10-10)	0,64
	82	Ш 50х82х50 Zn-0,45 (10-10)	0,71
	102	Ш 50х102х50 Zn-0,45 (10-10)	0,78
	122	Ш 50х122х50 Zn-0,45 (10-10)	0,85
	142	Ш 50х142х50 Zn-0,45 (10-10)	0,89
	152	Ш 50х152х50 Zn-0,45 (10-10)	0,93
	162	Ш 50х162х50 Zn-0,45 (10-10)	0,99
	182	Ш 50х182х50 Zn-0,45 (10-10)	1,07
	202	Ш 50х202х50 Zn-0,45 (10-10)	1,13

Таблица 19: Равносторонние уголки (плоские).

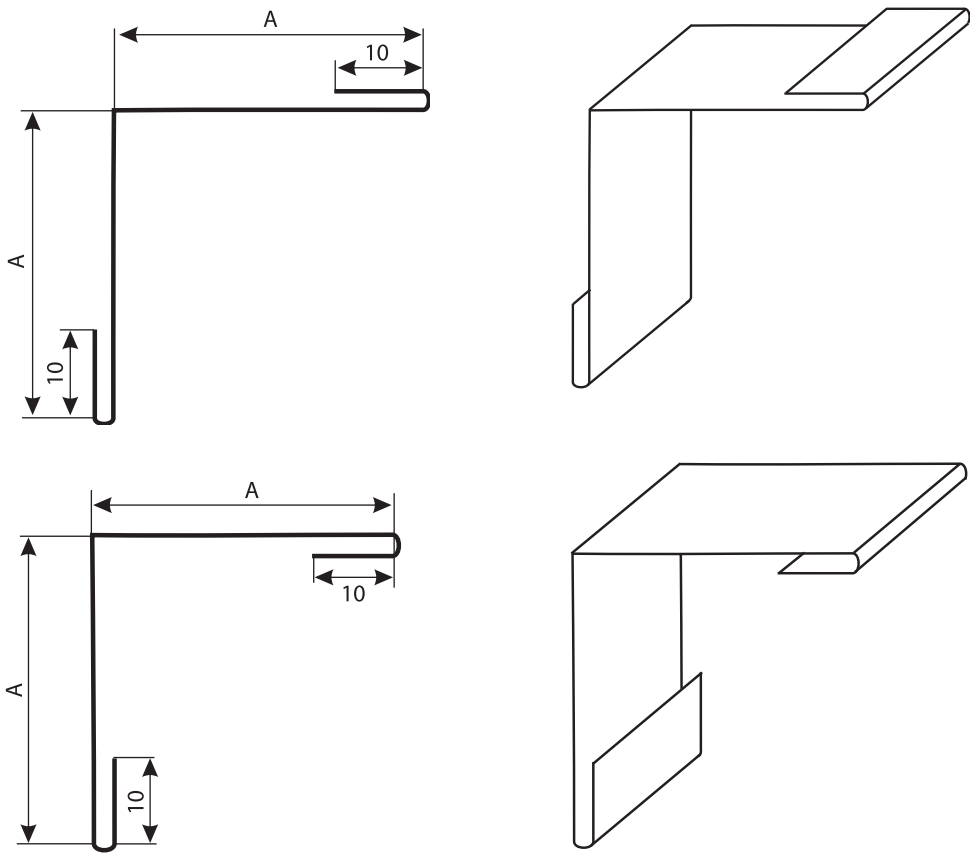
		
A	Обозначение (УВ-внутренний, УН-наружный)	Вес 1 пог. м, (кг)
40	УВ (УН) 40x40 Zn -0,45 (10-10)	0,35
60	УВ (УН) 60x60 Zn -0,45 (10-10)	0,49
80	УВ (УН) 80x80 Zn -0,45 (10-10)	0,64
100	УВ (УН) 100x100 Zn -0,45 (10-10)	0,77
120	УВ (УН) 120x120 Zn -0,45 (10-10)	0,92
140	УВ (УН) 140x140 Zn -0,45 (10-10)	1,05
160	УВ (УН) 160x160 Zn -0,45 (10-10)	1,2
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

Таблица 20: Уголки неравносторонние (для стыка потолочных и стеновых панелей).

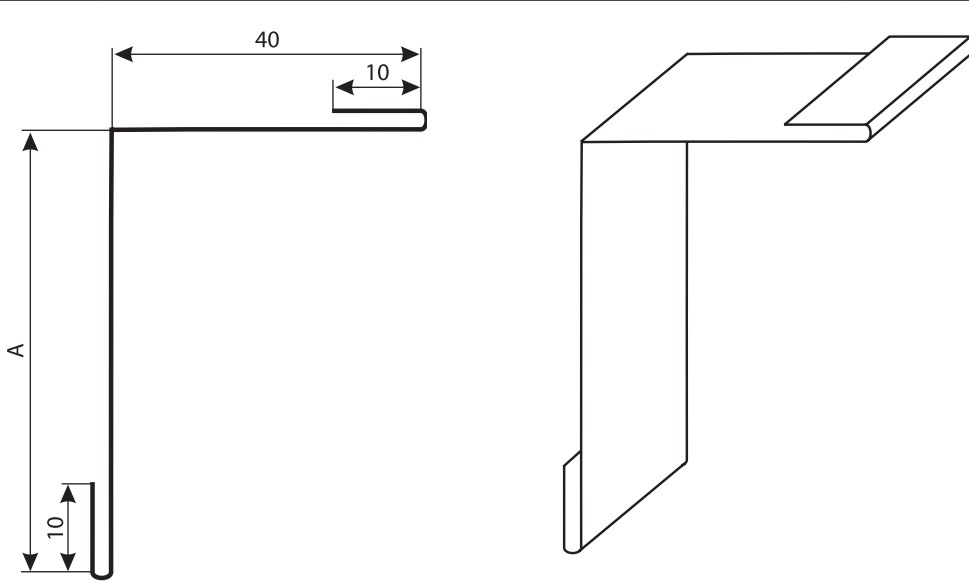
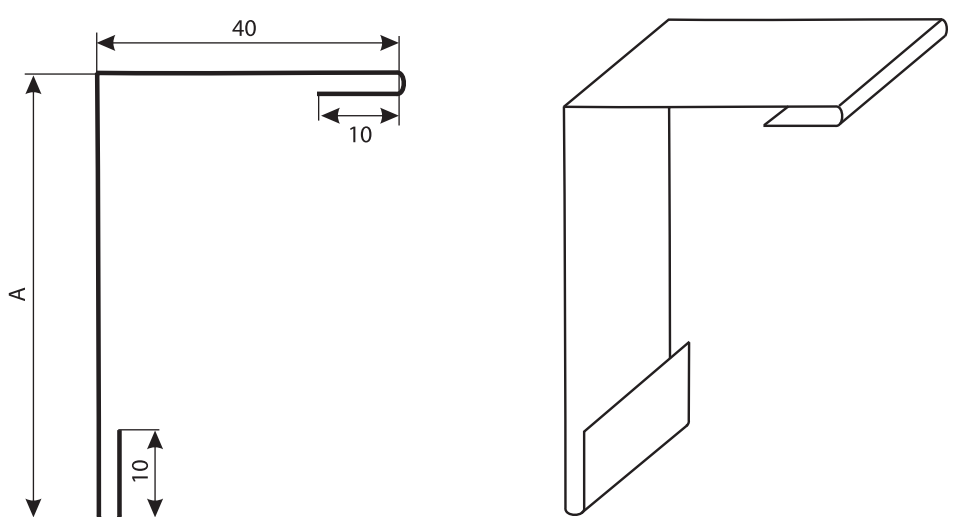
		
		
A	Уголок Внутренний (Наружный)	Вес 1 м, (кг.)
60	УВ (УН) 40x60 Zn-0,45 (10-10)	0,42
80	УВ (УН) 40x80 Zn-0,45 (10-10)	0,49
100	УВ (УН) 40x100 Zn-0,45 (10-10)	0,56
120	УВ (УН) 40x120 Zn-0,45 (10-10)	0,66
140	УВ (УН) 40x140 Zn-0,45 (10-10)	0,7
160	УВ (УН) 40x160 Zn-0,45 (10-10)	0,78
180	УВ (УН) 40x180 Zn-0,45 (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

Таблица 21: Плоский нащельник.

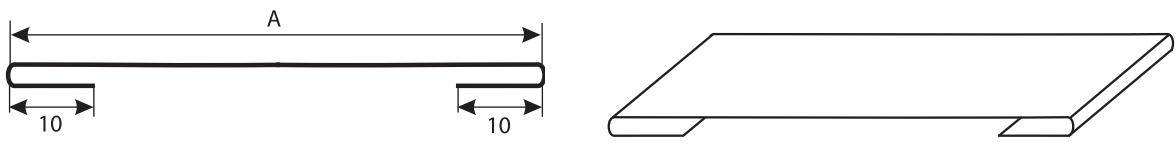
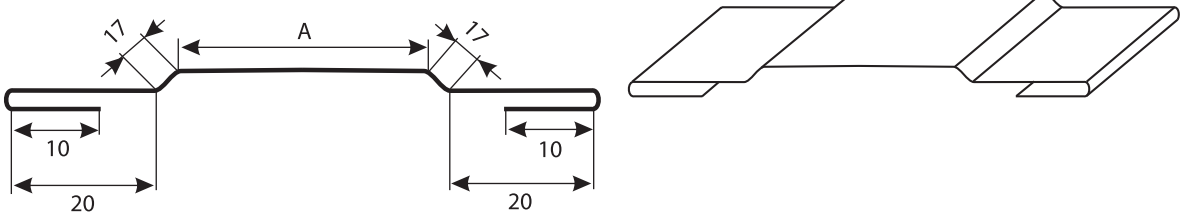
		
A	Наименование	Вес 1 м, (кг.)
40	H 40 Zn-0,45 (10-10)	0,21
60	H 60 Zn-0,45 (10-10)	0,28
80	H 80 Zn-0,45 (10-10)	0,35
100	H 100 Zn-0,45 (10-10)	0,42
120	H 120 Zn-0,45 (10-10)	0,49
140	H 140 Zn-0,45 (10-10)	0,56
150	H 150 Zn-0,45 (10-10)	0,6
160	H 160 Zn-0,45 (10-10)	0,64
180	H 180 Zn-0,45 (10-10)	0,7
200	H 200 Zn-0,45 (10-10)	0,77

Таблица 22: Фигурный нащельник.

		
A	Наименование	Вес 1 м, (кг.)
40	H 20x17x40x17x20 10-10	0,47
60	H 20x17x60x17x20 10-10	0,54
80	H 20x17x80x17x20 10-10	0,61
100	H 20x17x100x17x20 10-10	0,69
120	H 20x17x120x17x20 10-10	0,76
140	H 20x17x140x17x20 10-10	0,83
160	H 20x17x160x17x20 10-10	0,9
180	H 20x17x180x17x20 10-10	0,97
200	H 20x17x200x17x20 10-10	1,04
220	H 20x17x220x17x20 10-10	1,11

§ 4.4 УТЕПЛЕНИЕ («ОБШИВКА») СТЕН ПОМЕЩЕНИЯ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЯМИ.

Это – наиболее часто встречающаяся ситуация, когда холодильную или морозильную камеру надо оборудовать в уже существующем помещении, с бетонными или кирпичными стенами. Эта ситуация примечательна тем, что стенка камеры теперь составная и состоит как из кирпичной (или бетонной) стены, так и из сэндвич-панелей, а в некоторых случаях между этими двумя слоями присутствует и прослойка воздуха. Все эти слои характеризуются собственными коэффициентами теплопроводности и в разной степени участвуют в теплоизоляции, что непременно должно быть учтено в выборе толщины сэндвич-панелей.

Если панели толщиной δ_1 и термическим сопротивлением R_1 плотно прилегают к стене толщиной δ и теплопроводностью α , общее термическое сопротивление составной стенки будет равно:

$$R_{\text{общ}} = \frac{\delta}{\alpha} + R_1. \quad (9)$$

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

$$R_{\text{общ}} = 1,22 + R_1. \quad (10)$$

Принимая во внимание, что коэффициент теплопроводности ППУ составляет 0,021 Вт/м · К, видим, что дополнительная изоляция, обусловленная кирпичной стеной,



Рисунок 29: Помещение «обшитое» сэндвич-панелями.

позволяет выбрать панели на 25 мм тоньше, чем было бы необходимо в случае отдельностоящей камеры. Однако, надо иметь в виду, что сэндвич-панели должны очень плотно прилегать к кирпичной стене, чтобы приведенное выше умозаключение было верным, иначе возможны нежелательные «потери холода» и промерзание пространства между кирпичной стеной и сэндвич-панелями. К тому же, это может привести к повреждению панелей.

Отметим также, что для утепления стен и обустройства холодильной камеры нами опробованы и предлагаются панели, наружная сторона которых состоит из

фольгированной бумаги с общей плотностью 160 г/м² (плотность бумаги 120 г/м²). Применение таких панелей значительно удешевляет конструкцию. Панели при этом крепятся к предварительно выровненным стенам специальными самонарезающими винтами с антикоррозийной защитой, длина которых больше толщины панелей не менее чем на 3 см.

§ 4.5 ВЫБОР ТОЛЩИНЫ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНОЙ КАМЕРЫ.

Часто возникает вопрос относительно целесообразности использования панелей той или иной толщины в каком-нибудь конкретном проекте. Здесь надо учитывать множество факторов. И существенными для принятия правильного решения являются как механические, так и теплоизоляционные свойства сэндвич-панелей. К механическим параметрам, определяющим выбор толщины сэндвич-панелей для сборки бескаркасной камеры являются:

- ветровые нагрузки на стены и потолок (если камера находится на открытом воздухе);
- нагрузка потолочных панелей на стеновые (зависит от длины и толщины потолочных панелей);
- избыточное давление снаружи при выходе из строя клапана выравнивания давления;
- искривление (выпучивание) панелей вследствие температурного градиента на его сторонах;
- провисание потолочных панелей под воздействием собственного веса;
- возможные нагрузки на потолочные панели в процессе монтажа;

К термоизоляционным же факторам влияющим на выбор толщины панелей для холодильной камеры являются такие факторы как, например:

- температура в камере;
- температура снаружи;
- внутренний объем холодильной камеры;
- материал и толщина строительных конструкций (при их наличии);
- тип хранящейся продукции и его суточный оборот, и т.д.

Вопросы, связанные с механической прочностью панелей мы уже рассмотрели достаточно подробно, здесь же остановимся на чисто термодинамическом аспекте выбора толщины стенок холодильной камеры. Вообще говоря, подробный расчёт теплового баланса в холодильной камере является отдельной, достаточно сложной задачей, которая должна быть решена специалистами по теплотехнике. Однако, основываясь на достаточно простых рассуждениях, можно сделать вывод относительно целесообразности использования панелей определённой толщины. Очевидно, что в любом случае, наиболее толстые панели дают лучшую теплоизоляцию, и, говоря о целесообразности, мы имеем в виду, прежде всего, экономическую целесообразность. Общепринято считать, что для холодильной камеры оптимальной является теплоизоляция, обеспечивающая тепловые потери на уровне 10 Вт/м^2 за 1 час. Иначе эту величину называют ещё тепловой нагрузкой, т.е. это «потери» холода, которые необходимо восстанавливать для поддержания нужной температуры в камере.

В Таблице 17 приведены расчётные данные по тепловым потерям для панелей разной толщины в зависимости от разницы температур снаружи и внутри холодильной камеры. Указанные значения толщины сэндвич-панелей являются рекомендуемыми только для холодильных камер и складов, и никоим образом не являются рекомендациями для административных и хозяйственных построек, для которых есть утверждённые показатели допустимых тепловых потерь в зависимости от региона.

Таблица 23: Выбор толщины стенок холодильной камеры, в зависимости от разницы температур внутри и вне камеры.

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

- Оптимальная толщина панелей
- Избыточная толщина панелей (можно использовать)
- Панели данной толщины не рекомендуются к использованию

§ 4.6 КЛАПАНЫ ВЫРАВНИВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ.

Клапаны выравнивания давления необходимы в основном для установки в низкотемпературных холодильных камерах. В процессе охлаждения воздуха, внутри низкотемпературных холодильных камер возникает разрежение воздуха, приводящее к понижению давления. И если для небольших холодильных камер, объёмом несколько десятков кубометров, обладающих достаточной конструктивной



Рисунок 30: Клапан выравнивания давления КВД-4-60.

жесткостью, понижение давления не представляет серьезной опасности, то для крупных холодильных камер, если их двери достаточно герметичны, такие перепады давления могут потребовать чрезмерно больших усилий при открывании дверей (часто ломаются ручки и запоры). При этом важно, чтобы в низкотемпературных холодильных камерах всегда использовались клапаны выравнивания давления с защитой от обмерзания, что гарантирует их безотказную работу в любых условиях. Для надежности в больших камерах устанавливают несколько таких клапанов.

В настоящее время для выравнивания давления внутри низкотемпературных холодильных камер можно приобрести как металлические клапаны, так и силиконовые, причём их конструкция отличается друг от друга.

Металлические клапаны работают на закрытие под действием силы тяжести, поэтому их необходимо устанавливать горизонтально, т.е. в потолочных панелях холодильной камеры. Это, естественно, не всегда удобно. Силиконовые клапаны выравнивания давления работают в вертикальном положении, что упрощает их монтаж, позволяя устанавливать их на боковых панелях. Клапаны выравнивания давления различаются по производительности, поэтому их необходимо подбирать в зависимости от объёма камеры.

Формула, определяющая количество воздуха, требуемого для выравнивания внутреннего и внешнего давлений:

$$Q = K \cdot V \cdot \Delta T, \quad (11)$$

где Q - требуемое количество воздуха л/мин., $K = 3,66$ (константа), V - объем охлаждаемого помещения, m^3 , ΔT - максимальное изменение температуры в охлаждаемом помещении $^{\circ}C$ (не путать с разницей температур вне и внутри камеры!). Необходимо помнить, что пренебрежение этими недорогими устройствами может привести к серьезным последствиям. Монтируется клапан выравнивания давления при помощи крепёжных болтов с герметизацией пространства между стеновой панелью и клапаном. Размещать клапан необходимо поперечно к направлению потока воздуха из охладителей вблизи дверей. Расположение клапана относительно потолка: для камер с объёмом до $120 m^3$ минимум 30 см, для камер с объёмом до $600 m^3$ минимум 50 см от потолка или пола. Запрещается заставлять и ограничивать проход воздуха через клапан. Питается декомпрессионный клапан от электросети 230 В.



Неправильное направление монтажа клапана может привести к его заморозке и в последствии выходу из строя

БИБЛИОГРАФИЯ

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

