

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

В.М. Вдовин

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Рекомендовано Редсоветом университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство»

Пенза 2016

УДК 624.011.1
ББК 38.5
В25

Рецензенты: кандидат технических наук, профессор, генеральный директор ООО «Союз-проект», В.С. Абрашитов;
кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции» В.Н. Карпов (ПГУАС)

Вдовин В.М.

В25 Конструкции из дерева и пластмасс. Проектирование ограждающих конструкций: учеб. пособие / В.М. Вдовин. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 172 с.

Приведены конструктивные решения покрытий, стен и перекрытий. Даны рекомендации по проектированию и расчету настилов, щитов, прогонов и панелей ограждающих конструкций зданий, выполненных с применением древесины и пластмасс. Представлены виды и характеристики материалов для изготовления промышленных панелей. Рассмотрены конкретные практические примеры проектирования деревянного настила, щита, прогона и панелей покрытия.

Учебное пособие подготовлено на кафедре строительных конструкций и предназначено для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», изучающих дисциплину «Конструкции из дерева и пластмасс», а также может быть полезно инженерам-проектировщикам в их практической деятельности.

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2016

© Вдовин В.М., 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проектирование ограждающих конструкций зданий и сооружений является обязательной составной частью курсового проекта по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» и желательным разделом в дипломных проектах, выполняемых студентами по направлению «Строительство». Учитывая современные возросшие требования к ограждающим конструкциям, направленные на снижение стоимости, повышение эффективности, долговечности и улучшение других технико-экономических параметров, возникает необходимость в постоянном совершенствовании конструктивных форм и методов их расчета. За последние годы в практике строительства появилось достаточно большое разнообразие новых материалов, таких как листы «OSB», «LVL», стекломагнезиальные листы, эковата и др., которые успешно могут применяться при изготовлении ограждающих конструкций стен, перекрытий и покрытий. К сожалению, в имеющихся литературных источниках применение этих материалов в строительстве пока не находит отражения.

Предлагаемое дополненное учебное пособие прежде всего направлено на то, чтобы осветить намеченные сдвиги в совершенствовании панелей ограждающих конструкций и раскрыть возможности применения в них новейших листовых и теплоизоляционных материалов на основе древесины и пластмасс. В пособии освещены конструктивные формы и области применения 3-слойных панелей типа «Венталл», «Сендвич», а также ребристых панелей, выполненных с применением обшивочных материалов из цементно-стружечных плит (ЦСП),

листовых материалов «OSB», «LVL», стекломагнезиальных листов (СМЛ) и др.

Помимо общих конструктивных рекомендаций по применению современных эффективных материалов в ограждениях в пособии приводятся и конкретные примеры проектирования панелей с их применением.

Учет современных тенденций в совершенствовании конструктивно-технологических решений ограждающих конструкций, применяемых в строительстве, должен иметь место, прежде всего, на стадии обучения студентов, хотя это будет полезным также и проектировщикам, занимающимся реальным проектированием зданий и сооружений, чему и посвящено издание данного учебного пособия.

Предлагаемое учебное пособие позволит выпускникам вуза:

знать основные свойства древесины и пластмасс как конструкционного материала; нормативную базу в области проектирования и расчета по определенным состояниям; основы отечественных и зарубежных строительных норм;

уметь проектировать основные типы деревянных конструкций, оценивать величины действующих нагрузок и определять надежные сечения элементов несущих конструкций;

владеть методами автоматизированного проектирования, навыками получения расчетных характеристик материалов древесины и пластмасс и пользоваться ими в конкретных расчетах.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании зданий и сооружений особое внимание уделяется выбору ограждающих конструкций стен и покрытий, так как от рационального решения этого вопроса существенным образом зависят экономические и эксплуатационные показатели всего здания или сооружения.

Технико-экономический анализ показывает, что стоимость ограждающих частей утепленного покрытия составляет 75–85 % общей стоимости всего покрытия, в то время как на долю основных несущих конструкций приходится всего лишь 25–15 %. Поэтому добиваться снижения экономических показателей по покрытию зданий в первую очередь необходимо путем усовершенствования ограждающих конструкций с применением наиболее прогрессивных материалов. Опыт современного отечественного и зарубежного строительства показывает, что пути к снижению стоимости, трудоемкости, сроков строительства, а также повышению качества, долговечности идут через индустриализацию строительства. Поэтому в проектируемых зданиях постоянного назначения ограждающие конструкции должны быть индустриальными (изготовленными в заводских условиях) в виде укрупненных панелей стен, покрытий и перекрытий с максимальным использованием передовой технологии, механизированных и автоматизированных поточных линий с наименьшим применением ручного труда. На строительной площадке должна осуществляться только сборка укрупненных элементов.

В нашей стране накоплен опыт проектирования и изготовления большого количества разнообразных панелей ограждающих конструкций с применением дерева и пластмасс. Наибольшее применение полу-

чили панели на деревянном несущем каркасе с обшивками из фанеры, асбестоцемента, древесно-стружечных и древесно-волокнистых плит. Большое внимание уделяется также панелям со сплошным срединным слоем из пено- или поропласта, надежно прикрепленного к металлическим плоским или гофрированным обшивкам. Несомненным преимуществом панелей с применением дерева и пластмасс является, прежде всего, их малая масса, в несколько раз меньшая, чем масса панелей из других строительных материалов.

В практике выполнения ограждающих конструкций довольно часто применяют конструктивные решения, основанные на построечных условиях изготовления, когда на несущие конструкции укладывают различные деревянные настилы и прогоны. Этот процесс более трудоемок, но доступен, отличается простотой и не требует каких-либо механизмов при их изготовлении.

Независимо от конструктивного решения ограждающие конструкции, выполненные с применением древесины и пластмасс, экономически выгодно отличаются от изготовленных из других материалов. Благодаря малой их массе уменьшаются нагрузки на нижележащие элементы здания (фермы, колонны, фундаменты). Меньший вес конструкций снижает транспортные расходы, затраты на монтаж, уменьшает расход материалов на их изготовление и, в целом, приводит к снижению стоимости всего здания.

1. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ОГРАЖДЕНИЙ СТЕН, ПОКРЫТИЙ И ПЕРЕКРЫТИЙ

Ограждения стен, покрытий и перекрытий в конструкциях из дерева и пластмасс могут быть выполнены в виде трех конструктивных решений:

- различных настилов, уложенных по прогонам покрытия, стропильным ногам, балкам перекрытия или ригелям фахверка;
- сборных укрупненных щитов, уложенных по прогонам покрытия, ригелям фахверка или непосредственно на несущие конструкции каркаса здания;
- индустриальных крупных панелей, уложенных преимущественно на несущие конструкции каркаса здания.

Некоторые конструктивные решения покрытий указанных типов приведены на рис. 1. С учетом функционального назначения покрытия бывают утепленные и неутепленные (холодные). В утепленных покрытиях утеплитель кладут либо на самостоятельный настил, подшитый к низу прогонов (рис. 1, в) или стропильных ног (рис. 1, г), либо на основной рабочий настил, уложенный на прогоны или стропильные ноги, но при этом увеличивается строительная высота покрытия, что экономически нецелесообразно.

Варианты утепленного (рис. 1, в, г) и неутепленного (рис. 1, и) покрытий являются неиндустриальными, выполняются в построечных условиях и не рекомендуются для широкого массового строительства, хотя все же находят достаточно широкое применение. Более целесообразны варианты покрытий с несущими и кровельными щитами (рис. 1, а, б) или с панелями (рис. 1, д, е, ж), при использовании которых желательно укладывать их непосредственно на несущие конструкции каркаса здания, минуя прогоны и стропильные ноги. Такие покрытия отличаются высокой степенью индустриальности, выполняются с максимальной степенью заводской готовности, эстетичны, не требуют дополнительной отделки и больших затрат на последующее содержание их в процессе эксплуатации.

Ограждающие конструкции стен зданий выполняются аналогично покрытиям. В построечных условиях обшивки стен выполняются в виде сплошных вертикальных слоев из тонких досок, расположенных горизонтально и соединенных кромками в четверть или в шпунт, или листов фанеры, древесно-стружечных плит, древесно-волокнистых плит и т.п., прибитых к каркасу гвоздями.

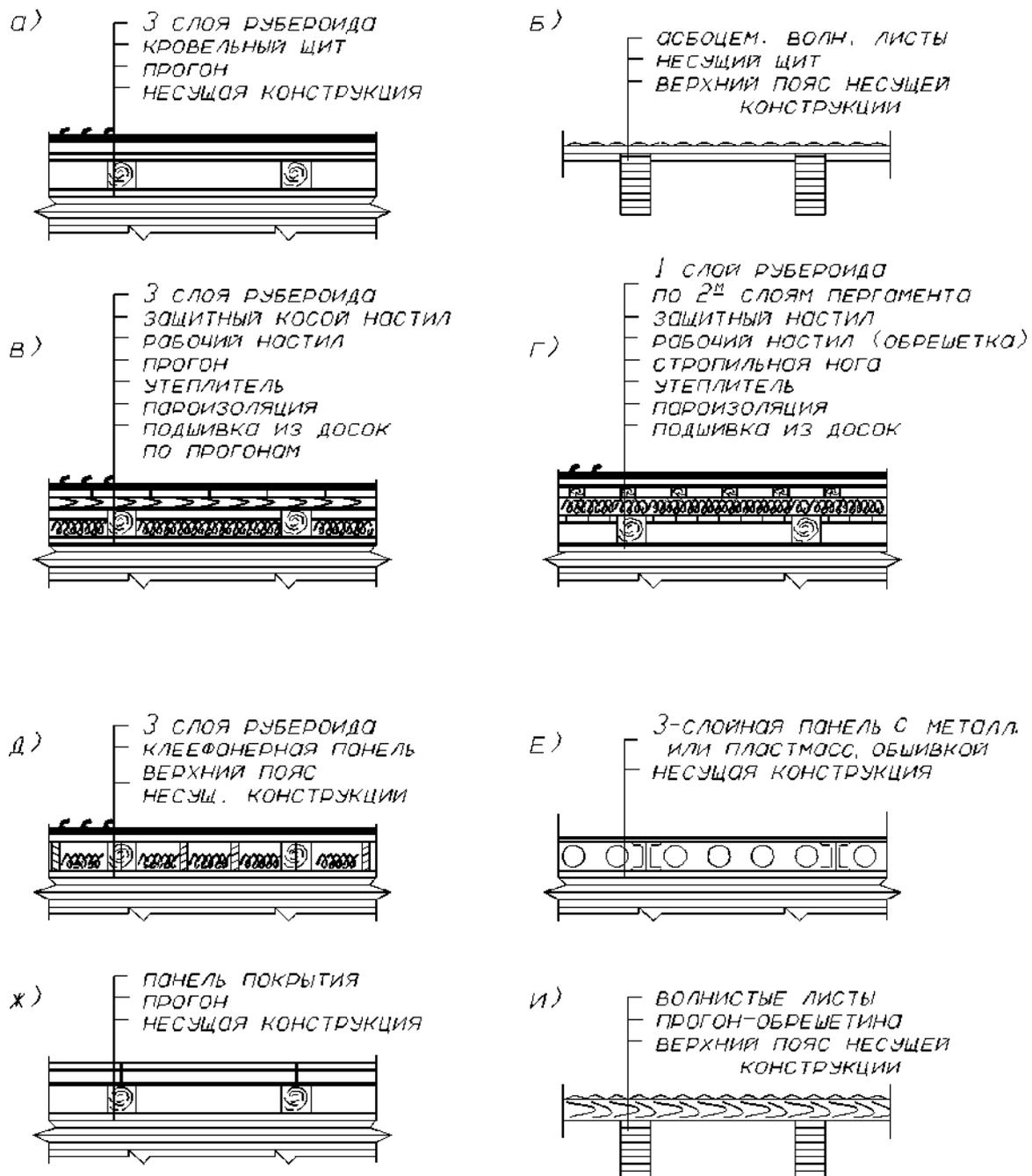


Рис. 1. Типы деревянных покрытий:
а, б, ж, и – холодные покрытия; в, г, д, е – утепленные покрытия

Сборные стены собираются из крупных промышленных панелей, прикрепляемых к стойкам несущего каркаса.

Междуэтажные и чердачные перекрытия выполняются с применением деревянных настилов, щитов и балок. При этом как правило перекрытия проектируют утепленными, с засыпными (шлак) или минераловатными утеплителями. Наиболее часто встречающиеся конструкции деревянных перекрытий приведены на рис.2.

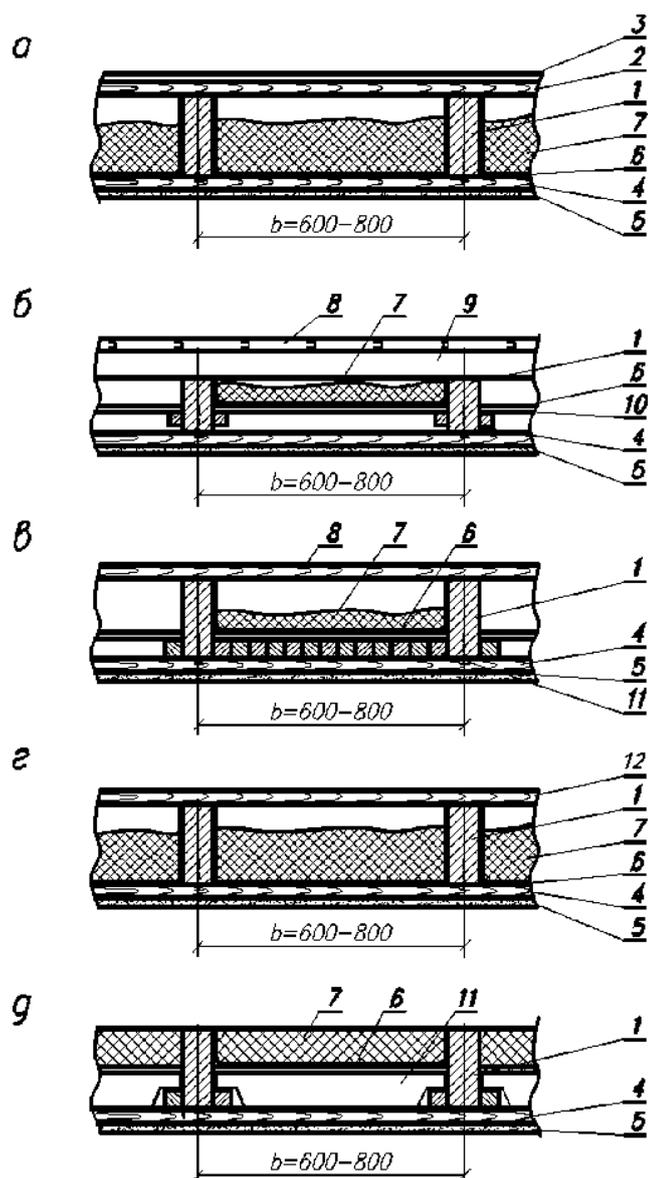


Рис. 2. Конструкции междуэтажных (а, б, в) и чердачных (г, д) перекрытий:

- 1 – несущие балки; 2 – дощатый настил; 3 – чистый пол; 4 – подшивка из досок;
 5 – штукатурка; 6 – пароизоляция (глиняная смазка);
 7 – утеплитель (засыпка шлаком или минвата); 8 – дощатый пол; 9 – лаги;
 10 – накат из досок; 11 – щит наката; 12 – ходовые доски

Верхние сплошные настилы из досок междуэтажных перекрытий служат основанием чистого пола или самим чистым полом. Их укладывают по промежуточным лагам из брусков (рис. 2, б) или непосредственно на балки (рис. 2, а) и прибивают к ним гвоздями. Доски настила чистого пола соединяют кромками в шпунт. К числу настилов относят также накаты перекрытий, расположенные между балками. Они несут нагрузки от собственного веса, веса утеплителя и пароизоляции и могут быть выполнены из отдельных досок или укрупненных щитов.

Подшивки потолков представляют собой сплошной настил из тонких досок, прибитых к балкам снизу гвоздями. По подшивке устраивается чистый потолок в виде штукатурки или декоративных плиток.

Целесообразность применения древесины и пластмасс в ограждающих конструкциях отапливаемых зданий и сооружений определяется прежде всего удачным сочетанием малой массы и малой теплопроводности с высокой несущей способностью этих материалов, особенно в клееных панелях, где обшивки и срединный слой работают совместно, образуя пространственную жесткую систему. Однако при проектировании ограждающих конструкций из древесины и пластмасс особое внимание следует уделять не только расчету несущей способности элементов ограждения, но и правильной их компоновке, так как от этого существенно зависит долговечность и огнестойкость не только самого ограждения, но и всего сооружения. Ниже приведены некоторые рекомендации по рациональной компоновке покрытий и стен с учетом теплофизических требований.

В однослойных неутепленных покрытиях правильным решением является применение над чердаками крыши негорючих и биостойких кровель из асбестоцементных листов или черепицы. В этом случае при обеспечении хорошей вентиляции чердачного помещения и негорючести кровли достигается повышенная долговечность и капитальность покрытия.

В утепленных бесчердачных ограждающих конструкциях возникает опасность внутреннего конденсационного увлажнения. Для устранения подобного явления необходимо устраивать усиленную пароизоляцию со стороны отапливаемого помещения и теплоизоляцию холодных слоев ограждения («шубу – на мороз»). Для того чтобы избежать конденсационного увлажнения внутренних слоев ограждения, необходимо обеспечить отвод водяных паров сквозь внешнюю (холодную) обшивку, которая, естественно, должна обладать большей паропроницаемостью, чем обшивка со стороны отапливаемого помещения.

На рис.3 показано правильное решение стеновых ограждающих конструкций для случая дополнительного утепления существующих стен и при проектировании стен из клефанерных или клеенных из древесно-стружечных плит панелей.

На рис. 4 приведены примеры рационального решения утепленных чердачного и цокольного перекрытий.

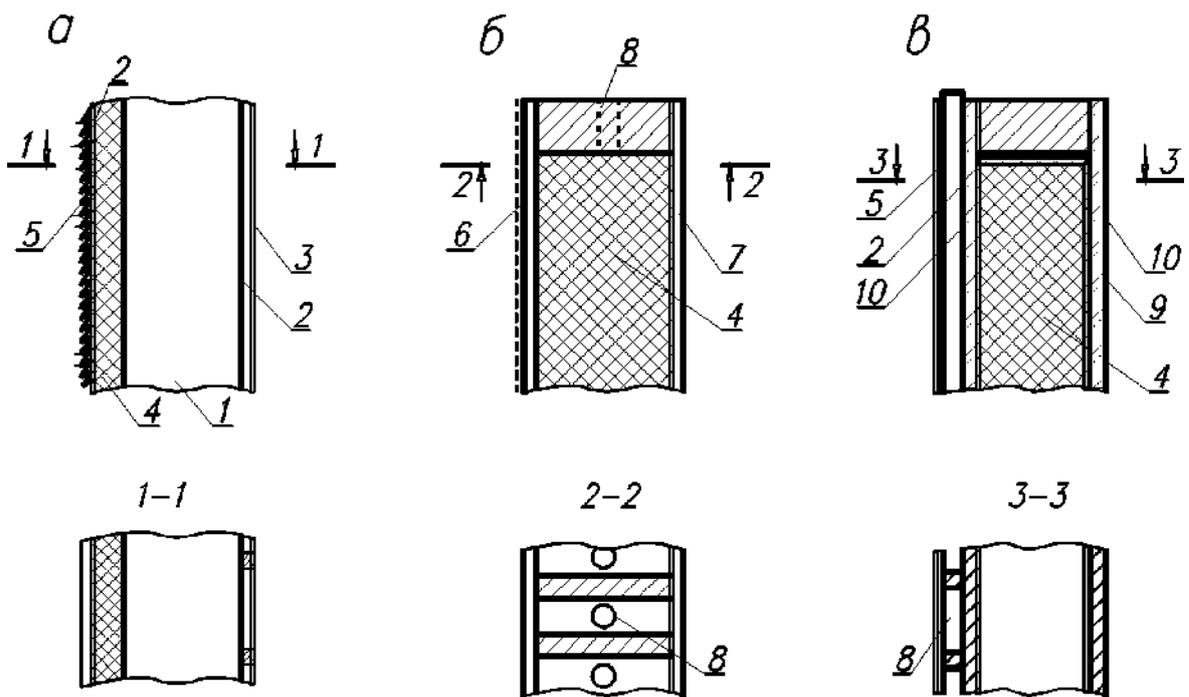


Рис. 3. Рациональное решение ограждений стен:
 а – при утеплении существующих стен; б – при проектировании стен из клефанерных панелей; в – при проектировании стен из клеёных панелей с обшивками из древесно-стружечных плит:
 1 – существующая утеплённая стена; 2 – рейка; 3 – гипсокартонные листы; 4 – утеплитель; 5 – наружный экран; 6 – водостойкая фанера; 7 – то же, с эмалевой пароизоляционной окраской; 8 – осушающий продух; 9 – пароизоляция; 10 – обшивки из ДСП

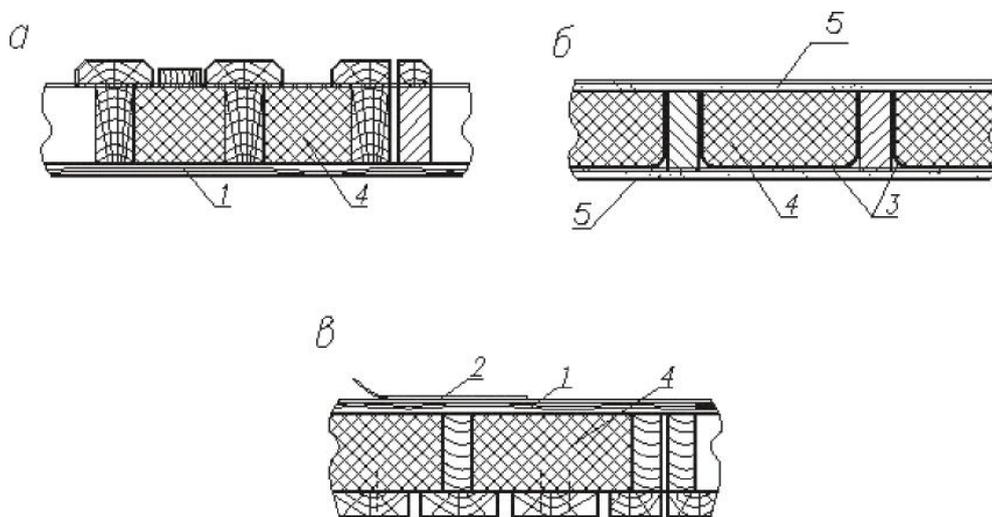


Рис. 4. Рациональные решения перекрытий:
 а – чердачного с клефанерной конструкцией; б – чердачного из панелей и обшивками из ДСП; в – цокольного с клефанерной конструкцией:
 1 – обшивка из водостойкой фанеры с эмалевой пароизоляционной окраской;
 2 – приклеенный линолеум; 3 – пароизоляция; 4 – утеплитель;
 5 – обшивки из ДСП

В утепленных бесчердачных покрытиях, где кровля неизбежно располагается со стороны холодной поверхности во избежание опасного внутреннего конденсационного увлажнения, необходимо устраивать осушающие продухи, располагаемые в торцевых и коньковых сопряжениях панелей. Такие продухи способствуют выводу наружу проникших в толщу ограждения водяных паров. Чем интенсивнее пароизоляция со стороны отапливаемого помещения, тем меньше требуемые размеры осушающих продухов, и тем меньше требуемая пропускная способность холодных воздушных прослоек, через которые водяные пары отводятся к осушающим продухам. По возможности следует избегать выполнения бесчердачных совмещенных покрытий, поскольку гораздо лучше холодная кровля с теплым потолком и проветриваемым чердаком.

В случаях применения в качестве утеплителя пористых или сыпных негорючих материалов целесообразно применять сплошное заполнение внутренних полостей (в целях повышения огнестойкости конструкций), и при этом особое внимание необходимо уделять надежности пароизоляции обшивки или покраски со стороны отапливаемого помещения.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСТИЛОВ

2.1. Деревянные настилы

Настилы являются несущими элементами ограждающих конструкций. Настилы покрытий в зависимости от типа кровли могут быть сплошными или разреженными (обрешетка). Сплошной настил может быть выполнен из досок, фанеры, древесно-стружечных плит и других листовых материалов; разреженные изготавливают из досок и брусков. Выбор вида настила зависит от типа кровли, наличия утеплителя и условий изготовления. При рулонной кровле применяют сплошные настилы, разреженные служат основанием под кровлю из волнистых асбестоцементных или стеклопластиковых, а также металлических листов и черепицы. В утепленных покрытиях, независимо от типа кровли, для укладки утеплителя используют сплошные настилы. Дощатые настилы выполняют из одного или двух слоев досок. В первом случае его называют одинарным, во втором – двойным перекрестным, у которого нижний слой досок является рабочим, а верхний – защитным. Доски рабочего настила должны иметь длину, достаточную для опирания их не менее чем на три опоры. Толщина досок определяется расчетом. Для защитного настила используют доски толщиной 16–22 мм и шириной 100 мм. Их укладывают под углом 45–60° по отношению к нижнему рабочему слою. Доски каждого слоя соединяются гвоздями.

Защитный настил образует необходимую сплошную поверхность, обеспечивает совместную работу всех досок настила, распределяет действие сосредоточенных сил и защищает кровельный ковер от разрывов при короблении и растрескивании более толстых и широких досок рабочего настила. Двойной перекрестный настил имеет значительную жесткость в своей плоскости и служит надежной связью для обеспечения пространственной жесткости покрытия здания.

Настилы являются менее ответственными конструкциями, чем основные несущие, их местные дефекты менее опасны для работы всего здания, поэтому для их изготовления, как правило, используют древесину пониженного качества (обычно 3-го сорта). Расчет дощатых настилов производят по схеме двухпролетной неразрезной балки на два сочетания нагрузок (рис. 5):

- а) собственный вес q и вес снега $p_{сн}$;
- б) собственный вес и вес сосредоточенного груза $P = 1$ кН с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,2$.

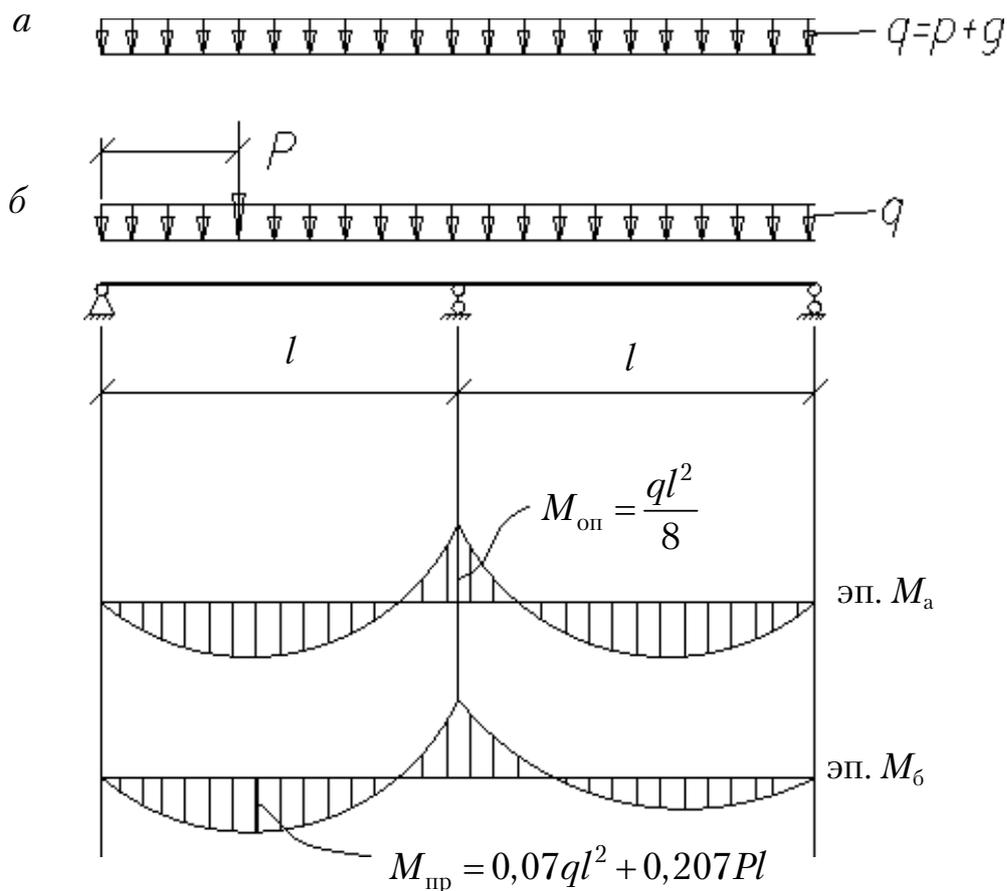


Рис. 5. Расчетная схема деревянного настила

На сочетание нагрузок б) проверяют только прочность, на сочетание а) – прочность и прогибы (жесткость). Для расчета вырезают полосу шириной 1 м.

Сосредоточенный груз P считается приложенным к одному элементу настила (доски), если расстояние между осями элементов более 150 мм, и к двум элементам, если это расстояние меньше 150 мм. При наличии двойного перекрестного настила или распределительных брусков под ним сосредоточенный груз P считается распределенным на ширину 0,5 м.

Максимальные изгибающие моменты составляют:
при сочетании нагрузок а)

$$M = \frac{ql^2}{8};$$

при сочетании нагрузок б)

$$M = 0,07ql^2 + 0,207Pl.$$

Проверку прочности настилов производят по формуле

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq m_n \cdot R_n, \quad (1)$$

где m_n – коэффициент, учитывающий кратковременный характер действия монтажной нагрузки P . При расчете настилов на сочетание нагрузок б) коэффициент $m_n = 1,2$, при расчете на сочетание а) $m_n = 1$.

Максимальный прогиб настилов проверяется только от действия сочетания нагрузок а) по формуле

$$\frac{f}{l} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{q^H l^3}{EI} \leq \left[\frac{f}{l} \right]. \quad (2)$$

2.2. Настилы из волнистых листов

В качестве настилов могут применяться волнистые асбестоцементные и стеклопластиковые листы. Чаще всего они выполняют роль кровли.

Волнистые листы из стеклопластика применяются для светопрозрачных ограждений стен и покрытий, а также в качестве кровли зданий различного назначения. В холодных ограждениях промышленных зданий волнистые листы из стеклопластика сочетаются с волнистыми листами из асбестоцемента, алюминия и стали. При этом размеры волн и тех и других следует принимать одинаковыми. Уклоны покрытий в случае комбинации волнистых листов из светопрозрачных материалов с волнистыми листами из асбестоцемента, стали, алюминия следует назначать в соответствии с требованиями, предъявляемыми к покрытиям из нестепрозрачных волнистых листов. При устройстве покрытий сплошь из светопрозрачных волнистых листов уклоны должны быть не менее 10 % – в случае стыкования листов по длине ската и 5 % – в случае отсутствия стыков.

Для уменьшения прогибов и числа стыков рекомендуется раскладку волнистых листов в ограждении делать так, чтобы каждый лист опирался не менее чем на три опоры и работал по схеме неразрезной балки.

Крепление волнистых листов к стальным и железобетонным прогонам осуществляют на болтах, к деревянным прогонам – на шурупах и винтах (рис.6). Болты и винты, диаметр которых должен быть не менее 6 мм, применяют оцинкованными и располагают под каждым вторым или третьим гребнем. Каждый крайний гребень листа должен быть закреплен. Для обеспечения надежной гидроизоляции применяют

ленточный герметик в стыках листов и эластичные прокладки под стальные шайбы болтов и винтов. Длина нахлестки листов по длине в покрытиях должна быть не менее 150–200 мм, в стеновых ограждениях – не менее 100 мм. Варианты крепления и стыков волнистых листов показаны на рис.6.

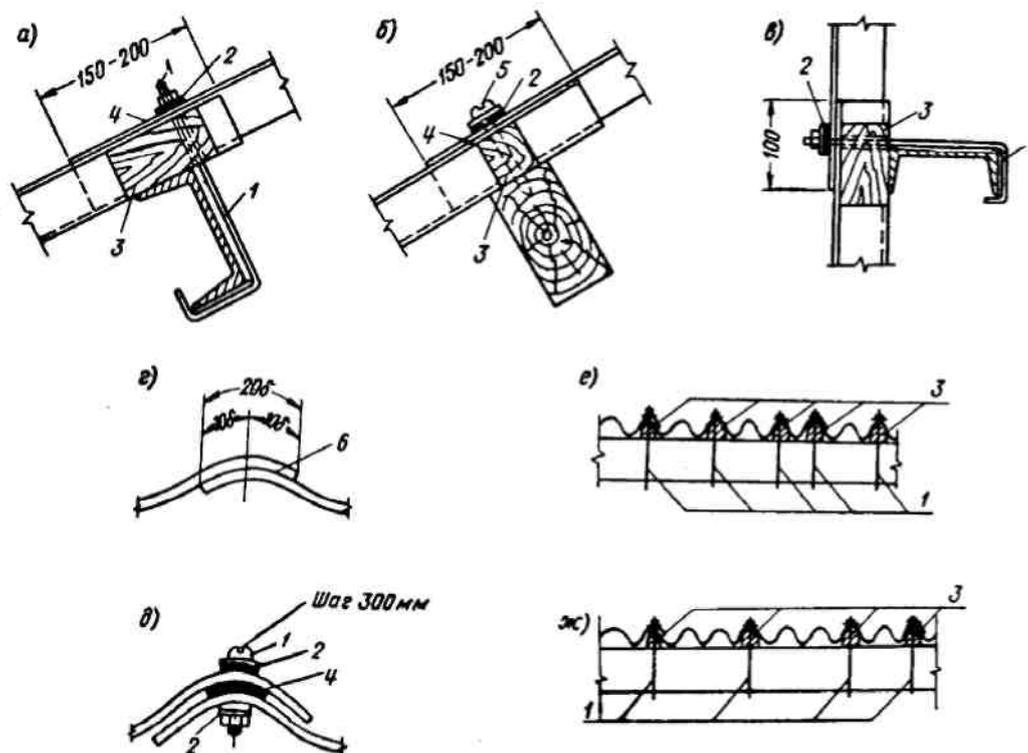


Рис. 6. Крепление и стыки волнистых листов: а и б – в покрытии; в – в стеновом ограждении; г – стык на клею; д – стык на болтах; е – расположение креплений по длине прогона при размерах волн от 200/54 до 125/35; ж – то же, при размерах волн 90/30 и 78/18; 1 – болт; 2 – металлическая шайба с эластичной подкладкой; 3 – деревянная подкладка; 4 – герметик; 5 – шуруп; 6 – клеевой шов

Стык поперек направления ската осуществляется болтовыми или клеевыми соединениями. При болтовых соединениях длина нахлестки волнистых листов принимается не менее длины одной волны, шаг болтов – 300 мм. При клеевом соединении длину нахлестки принимают по расчету, а протяженность одного стыка – не более 3 м.

Расчет волнистых листов производится по схеме балки с фактическим количеством опор (прогонов), на которые опирается лист. Сочетания нагрузок принимаются такими же, как для деревянных настилов.

Проверка прочности волнистого листа по нормальным напряжениям производится по формуле (1). Кроме этого, необходимо прове-

ритель прочность от действия касательных напряжений и устойчивость по формулам:

$$\tau = \frac{0,75 \cdot Q \cdot \sin \alpha}{h_{\text{в}} \cdot \delta} \leq R_{\text{ск}}; \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{в}}}{W_{\text{в}}} \leq \sigma_{\text{кр}} = \frac{1,92 \cdot E \cdot \delta \cdot h_{\text{в}}}{4 \cdot h_{\text{в}}^2 + l_{\text{в}}^2}, \quad (4)$$

где Q – максимальная поперечная сила;

$h_{\text{в}}, l_{\text{в}}$ – высота и длина волны;

δ – толщина волнистых асбестоцементных или стеклопластиковых листов;

α – угол, определяемый из условия $\text{tg} 2\alpha = \frac{\pi \cdot h_{\text{в}}}{l_{\text{в}}}$.

Прогиб листов вычисляют от действия постоянных и временных нагрузок по правилам строительной механики в зависимости от статической схемы.

Расчет волнистых листов желательно вести на ширину полосы, равной 1 м или длине одной волны (формула (4) дана для полосы шириной, равной одной волне).

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЩИТОВ

При проектировании ограждающих конструкций покрытий из досок и брусков рекомендуется применять промышленные кровельные щиты сплошные или разрезанные (рис. 7, 8).

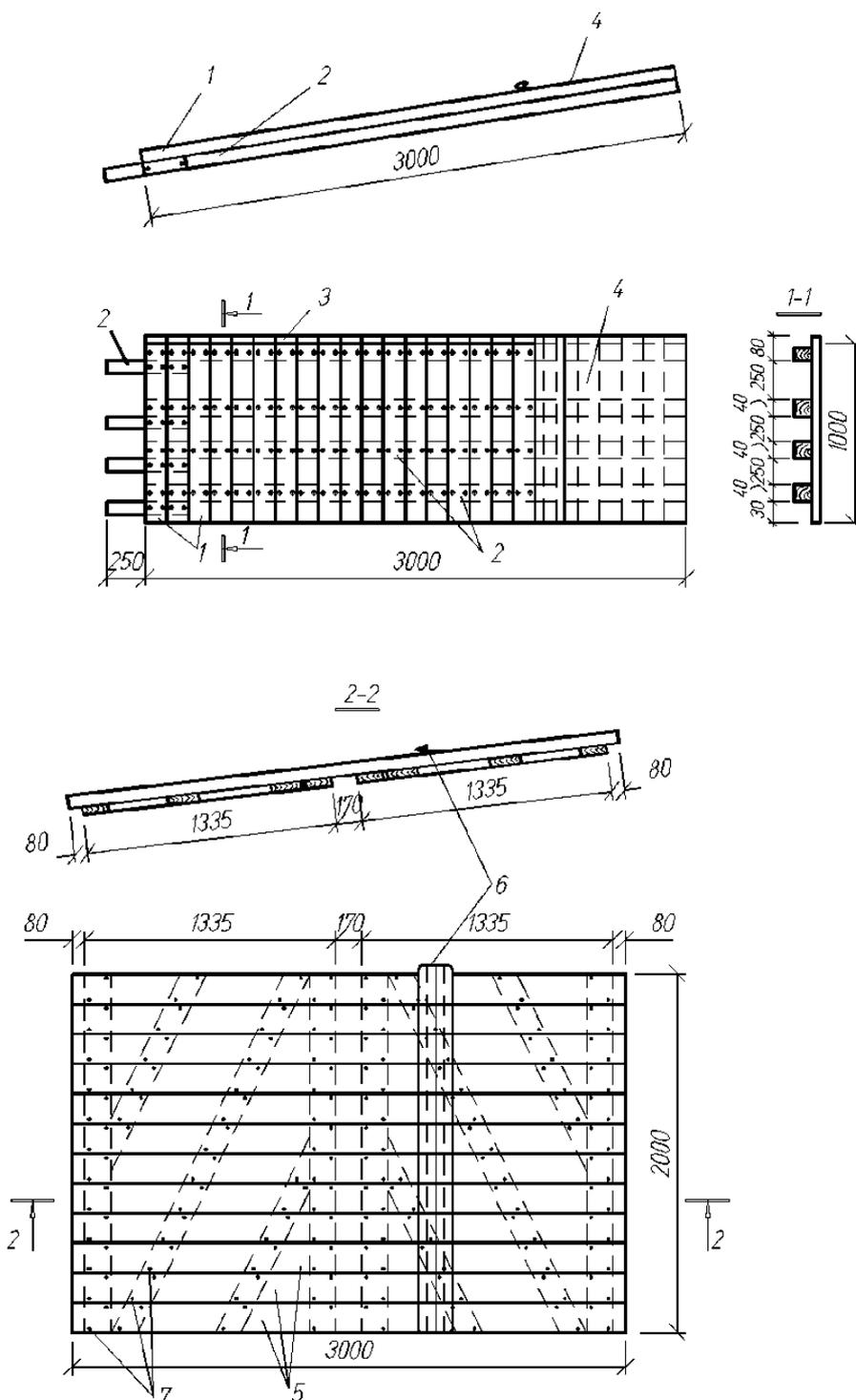


Рис.7. Сборные щиты ограждающей конструкции покрытия:
 1 – доски настила; 2 – бруски щита; 3 – бортовой брусок; 4 – рубероид;
 5 – доски настила; 6 – битумокартон; 7 – гвозди

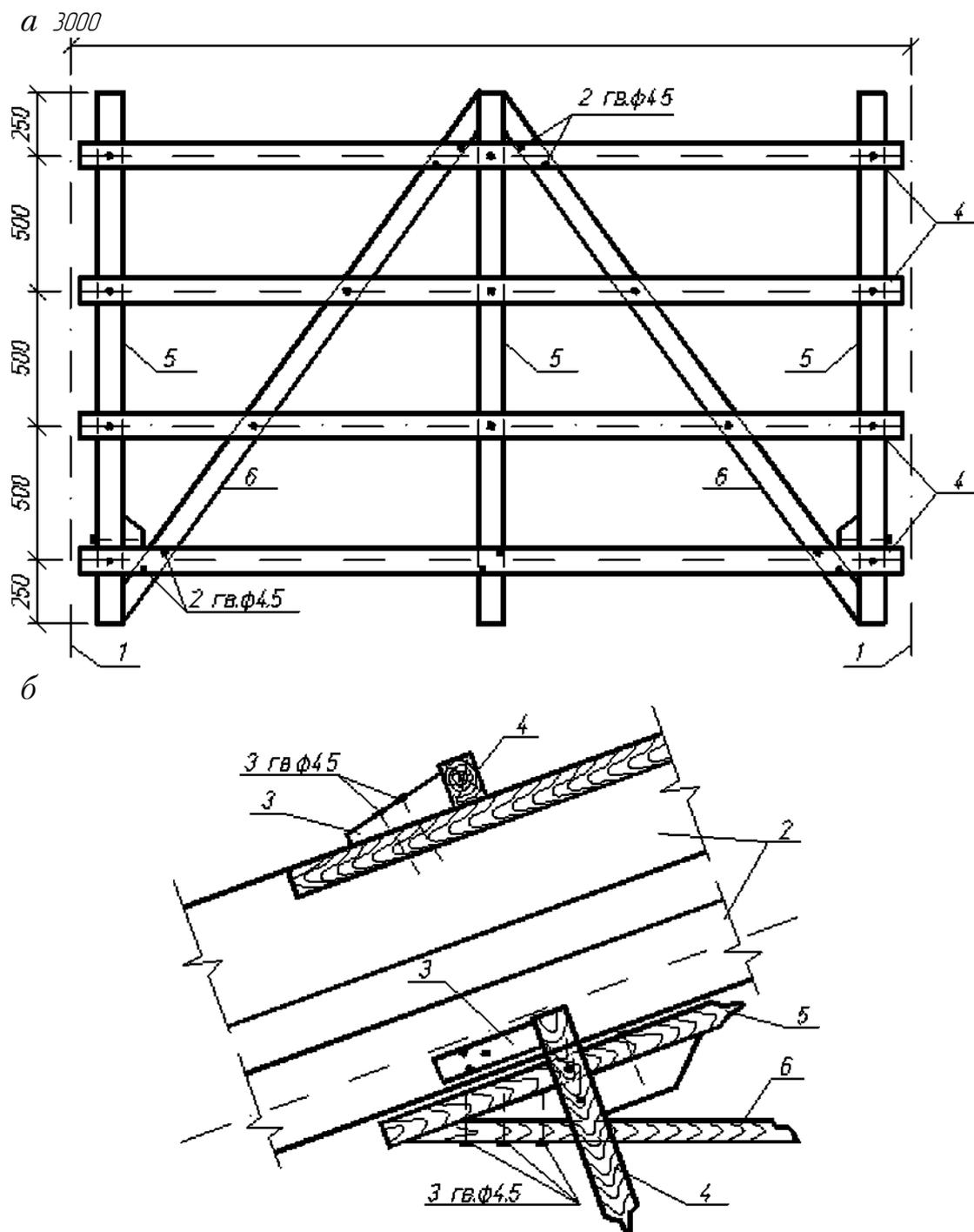


Рис. 8. Беспрогонное решение покрытия:
 а – кровельный щит; б – деталь крепления щита к верхнему поясу;
 1 – ось фермы; 2 – верхний пояс фермы; 3 – прибоина;
 4 – обрешетины 50×100 мм; 5 – поперечные связи 50×50 мм;
 6 – диагональные связи 50×50 мм

Кровельные щиты выполняют двухслойными. Верхний слой состоит из брусков-обрешетин (рис. 8) для кровли из волнистых листов или дощатого сплошного настила (рис. 7) – для кровли из мягких рулонных материалов. Нижний слой включает в себя поперечные и диагональные элементы связи, образующие решетку, которая обеспечивает неизменяе-

мость щитов во время транспортировки и монтажа, а также пространственную жесткость покрытия во время эксплуатации. Элементы нижнего и верхнего слоев в местах взаимного пересечения соединяются между собой гвоздями. Весь щит прибивается гвоздями к нижележащим несущим конструкциям покрытия.

Крепление щита к нижележащим несущим конструкциям покрытия может производиться либо через поперечные связевые элементы стойки, либо через прибоины и концевые части обрешетин. Щит в плоскости покрытия рассчитывается как свободно лежащая балка на двух опорах. При работе щита на косой изгиб (в наклонных кровлях) необходимо вертикальную нагрузку разложить на две составляющие – вдоль и перпендикулярно скату крыши. В плоскости, перпендикулярной скату, обрешетины рассчитывают как разрезную балку на двух опорах. В плоскости ската они работают как двухпролетная неразрезная балка с пролетами в два раза меньше, так как обрешетины на средней стойке щита имеют дополнительную опору. Максимальные изгибающие моменты в обеих плоскостях возникают по середине обрешетки и соответственно равны:

$$M_x = \frac{q_y \cdot l^2}{8}; M_y = \frac{q_x \cdot l_1^2}{8} = \frac{q_x \cdot l^2}{32} \text{ (при } l_1 = l/2),$$

где $q_x = q \sin \alpha$, $q_y = q \cos \alpha$ – скатная и перпендикулярно скату составляющие нагрузки q ;

α – угол наклона ската крыши.

Расчет может производиться на всю ширину щита, на полосу шириной 1 м или на один элемент (обрешетину) щита.

Прочность обрешетки проверяется по формуле

$$\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq R_u \cdot m_n, \quad (5)$$

где W_x, W_y – моменты сопротивления поперечного сечения рассматриваемой полосы щита относительно осей x и y , соответственно;

m_n – коэффициент условия работы, принимается так же, как и при расчете настилов. Если обрешетины одновременно служат и прогонами, то $m_n = 1$.

Прогиб обрешетин может подсчитываться только от нагрузки, перпендикулярной скату, как в свободно лежащей на двух опорах балке. Проверку прогибов можно производить по формуле

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_y^H \cdot l^3}{E \cdot I_x} \leq \left[\frac{f}{l} \right]. \quad (6)$$

Помимо общих проверок по формулам (5) и (6) необходимо еще выполнить расчет крепления элементов щита к нижележащей конструкции покрытия.

Полная скатная составляющая от собственного веса и снеговой нагрузки, приходящаяся на весь щит, равна:

$$T = q_x \cdot n_{об} \cdot l, \quad (7)$$

где $n_{об}$ – число обрешетин;

l – длина щита.

Часть этой нагрузки, собранная примерно с одной четверти площади щита, передается непосредственно от обрешетин на крайние стойки. Оставшаяся часть скатной составляющей передается через раскосы на упорные бобышки. Усилие, воспринимаемое одной бобышкой, равно:

$$T_6 = \frac{0,75T}{2}. \quad (8)$$

Бобышка к стойке крепится гвоздями, количество которых подсчитывают по формуле

$$n_{26} = \frac{T_6}{T_{ГВ}^{\min}}, \quad (9)$$

где T_{26}^{\min} – минимальная несущая способность одного гвоздя.

Если щит крепится к нижележащей конструкции через крайние стойки, то через эти гвозди вся скатная составляющая от щита передается опорной конструкции.

Необходимое количество гвоздей на одну стойку равно:

$$n_1 \geq \frac{T}{2T_{ГВ}^{\min}}. \quad (10)$$

Если же скатная составляющая от обрешетки передается через прибоины (см. рис. 8), то каждая прибоина должна крепиться гвоздями, количество которых должно быть

$$n_n \geq \frac{T}{2n_{об} T_{ГВ}^{\min}}. \quad (11)$$

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГОНОВ

Прогоны покрытия могут быть разрезными, неразрезными из спаренных досок и консольно-балочными из брусьев или бревен. В целях экономии материала следует отдавать предпочтение неразрезным и консольно-балочным прогонам. Конструкции прогонов показаны на рис. 9.

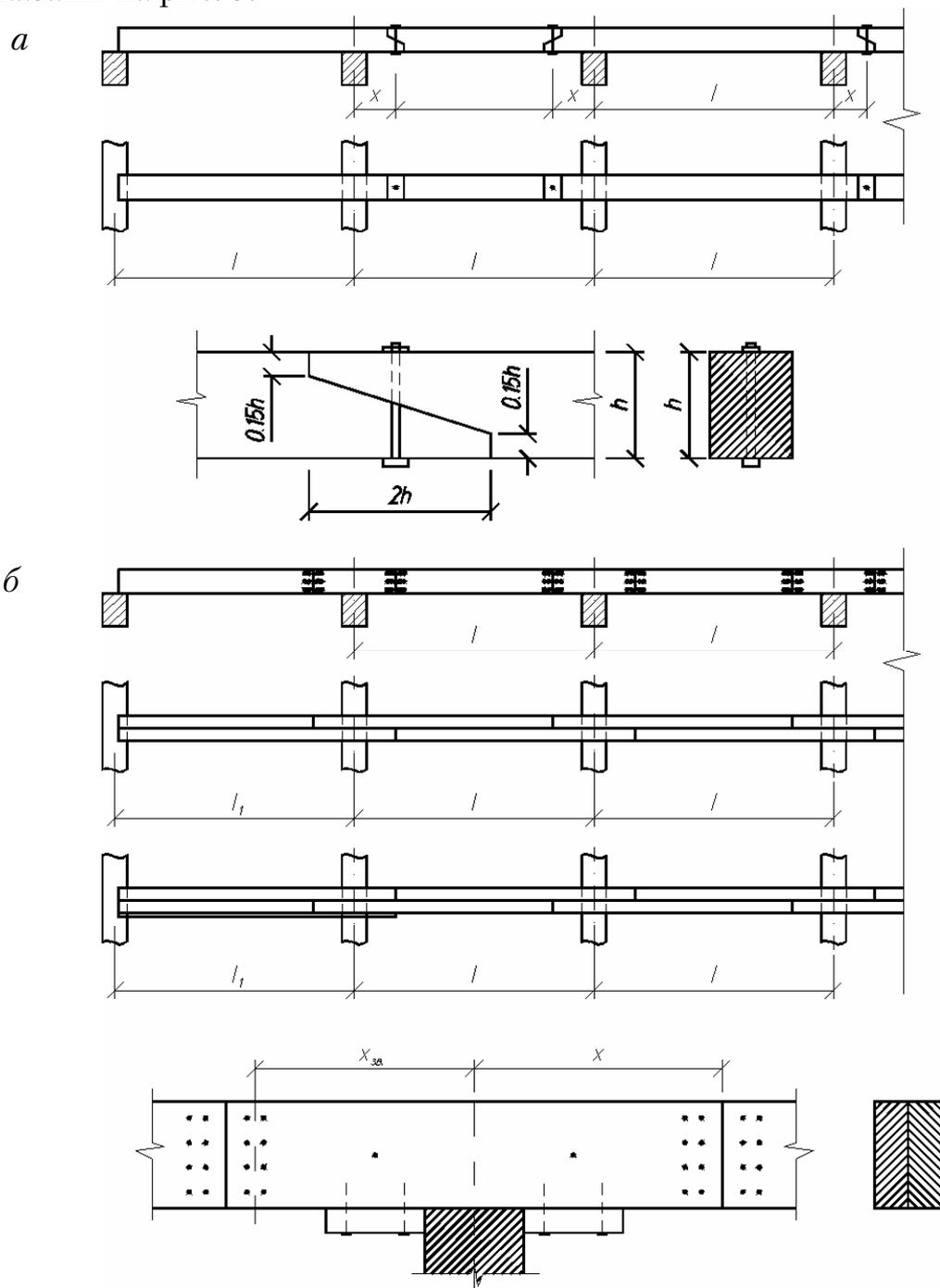
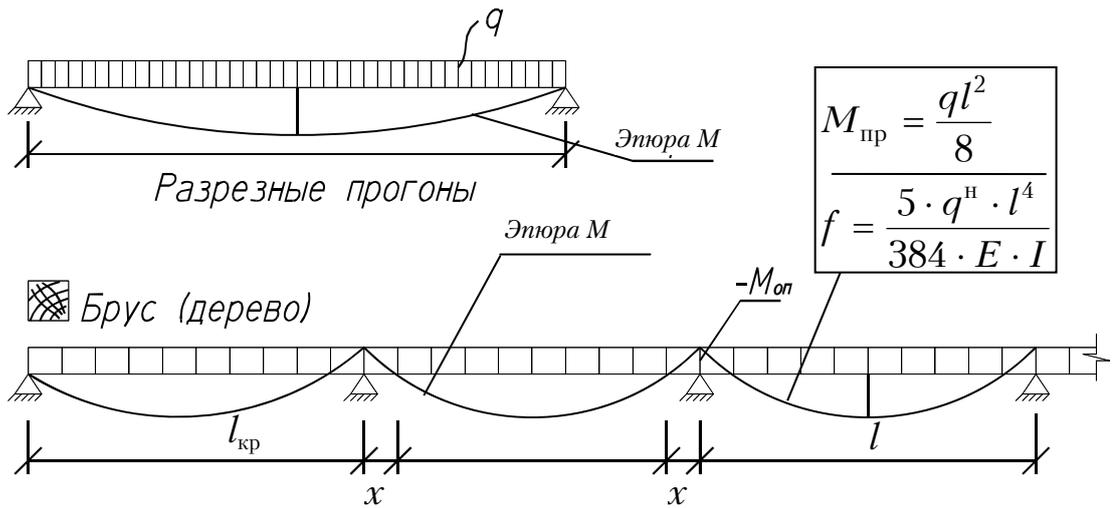


Рис.9. Конструкции прогонов:
а – консольно-балочные; б – неразрезные



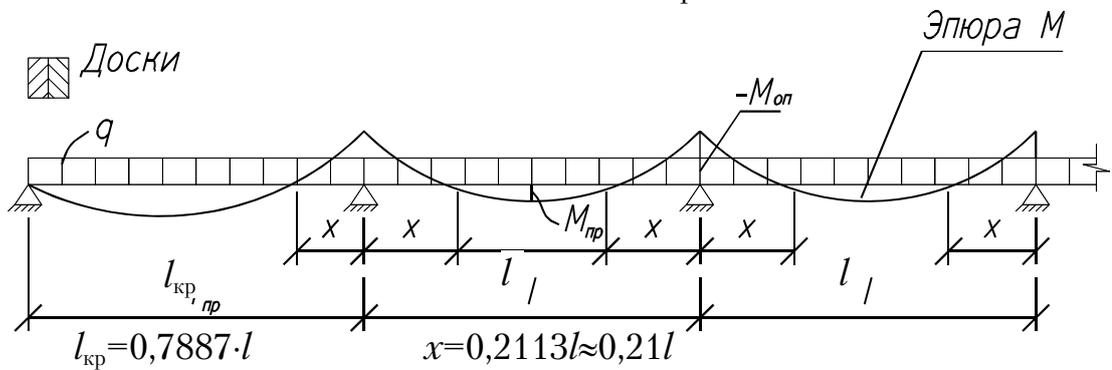
$$l_{кр} = 0,8535 \cdot l$$

$$x = 0,1465 \cdot l \approx 0,15l$$

$$x = 0,15 \cdot l$$

$M_{оп} = -\frac{q \cdot l^2}{16};$	$M_{пр} = +\frac{q \cdot l^2}{16};$	$f = \frac{2}{384} \cdot \frac{q^H \cdot l^4}{E \cdot I};$
-------------------------------------	-------------------------------------	--

Консольно-балочные прогоны



$$x = 0,21 \cdot l$$

$M_{оп} = -\frac{q \cdot l^2}{12};$	$M_{пр} = +\frac{q \cdot l^2}{24};$	$f = \frac{1}{384} \cdot \frac{q^H \cdot l^4}{E \cdot I};$
-------------------------------------	-------------------------------------	--

Неразрезные прогоны

Рис. 10. Расчетные схемы прогонов

Выбор системы прогонов зависит от расстояния между основными несущими конструкциями (фермами, балками, арками и т.п.), причем консольно-балочные схемы применяются преимущественно при малых расстояниях и четном числе основных несущих конструкций, а спарен-

ные неразрезные – при нечетном числе, малом уклоне верхнего пояса ферм и больших пролетах. Консольные балочные прогоны выполняются из бревен или брусьев, а неразрезные прогоны – из спаренных досок, поставленных на ребро. Доски по длине сбивают конструктивно гвоздями с шагом 500 мм. В месте стыка досок гвозди ставятся по расчету. Расчет прогонов производится обычно на действие равномерно распределенной нагрузки во всех пролетах. Расчетные схемы прогонов, максимальные величины изгибающих моментов и прогибов показаны на рис.10.

Размером x на схемах обозначено расстояние от опоры до места расположения стыка прогона.

Стыки прогонов располагают в местах с нулевыми значениями изгибающих моментов. Обычно принимают два значения x :

$x = 0,1465l$ (l – пролет прогона) – в этом случае получают равномоментное решение;

$x = 0,2113l$ – получают равнопрогибное решение.

Если крайние пролеты равны остальным, т.е. $l_1 = l$, то изгибающий момент на первой промежуточной опоре

$$M_{\text{оп1}} = \frac{ql_1^2}{10},$$

а максимальный прогиб прогона в первом пролете

$$f = \frac{2,5}{384} \frac{q^H l^4}{EI}.$$

Эти значения M и f существенно больше, чем в других сечениях, поэтому необходимо либо усилить сечение прогона в крайних пролетах, либо уменьшить величину первого пролета l_1 . Второе предпочтительнее, поэтому принимают $l_1 = 0,85l$ – для равномоментного решения и $l_1 = 0,79l$ – для равнопрогибного решения. В этом случае значения максимальных изгибающих моментов и в первом и всех последующих пролетах примерно одинаковы. Прогоны проверяются на прочность по формуле (1) или (5), на жесткость, на действие постоянных и временных нагрузок. Количество гвоздей $n_{\text{ГВ}}$ в стыке досок неразрезного прогона подсчитывается по формуле

$$n_{\text{ГВ}} \geq \frac{M_{\text{оп}}}{2x_{\text{ГВ}} \cdot T_{\text{ГВ}}^{\text{мин}}}, \quad (12)$$

где $M_{\text{оп}}$ – изгибающий момент на опоре;

$x_{\text{ГВ}}$ – расстояние от оси опоры до оси забивки гвоздей;

$T_{\text{ГВ}}$ – минимальная несущая способность одного гвоздя.

Размеры поперечных сечений прогонов следует назначать в соответствии с сортаментом пиломатериалов.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАНЕЛЕЙ

5.1. Классификация и общая характеристика панелей

Панели ограждающих конструкций можно классифицировать по следующим признакам:

- по назначению – панели стен, покрытий и др.;
- по теплотехническим свойствам – неутепленные и утепленные;
- по светопропускной способности – светопроницаемые и светонепроницаемые;
- по конструктивному признаку – со сплошным срединным слоем и ребристые;
- по количеству слоев – однослойные и многослойные;
- по форме поверхности – плоские и криволинейные.

Тот или иной тип панели принимается в зависимости от назначения здания и условий строительства. Например, в утепленном покрытии промышленного здания могут быть приняты трехслойные светонепроницаемые панели со сплошным или ребристым срединным слоем. При этом в зависимости от очертания верхнего пояса несущей конструкции панель может быть плоской или криволинейной.

В нашей стране накоплен достаточно большой опыт по проектированию и изготовлению разнообразных типов панелей ограждающих конструкций с применением дерева и пластмасс. Некоторые из этих типов приведены в табл. 1.

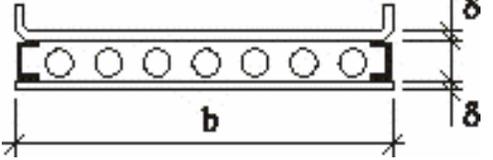
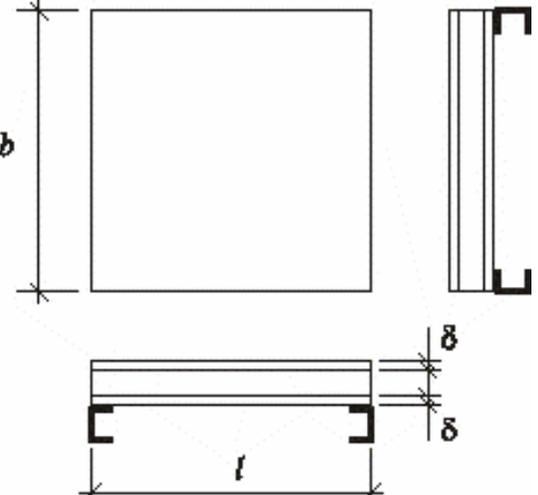
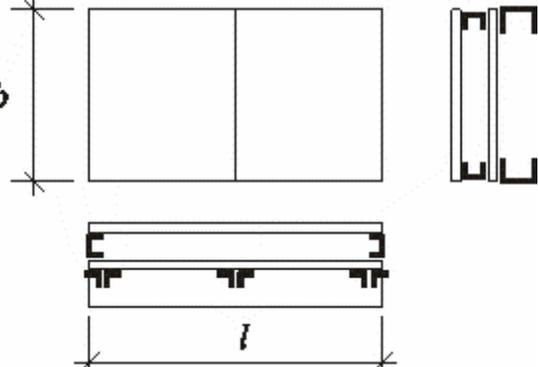
В таблице указаны схемы и размеры трехслойных панелей со сплошным срединным слоем, используемых в практике строительства зданий промышленного, гражданского, сельскохозяйственного и других назначений. Все они делятся на две группы – с металлическими (алюминий, защищенная сталь) и неметаллическими (асбестоцемент, фанера, стеклопластик и др.) обшивками. Панели ребристые (табл. 2) на сегодня преимущественно выполняются с обшивками из фанеры, древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит, цементно-стружечных плит, OSB, хотя в практике могут быть использованы панели с обшивками из стеклопластика, асбестоцемента и других листовых материалов. Несомненно, преимуществом всех типов панелей является, прежде всего, их малая масса, в несколько раз меньшая, чем для панелей из других строительных материалов. Благодаря малой массе ограждающих конструкций уменьшается нагрузка на нижележащие конструкции (фермы, колонны, фундаменты), что приводит к уменьшению расхода материалов на них. Малый вес конструкции снижает транспортные расходы, затраты на монтаж и, в целом, приводит к снижению стоимости всего здания.

Таблица 1

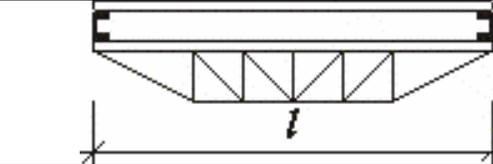
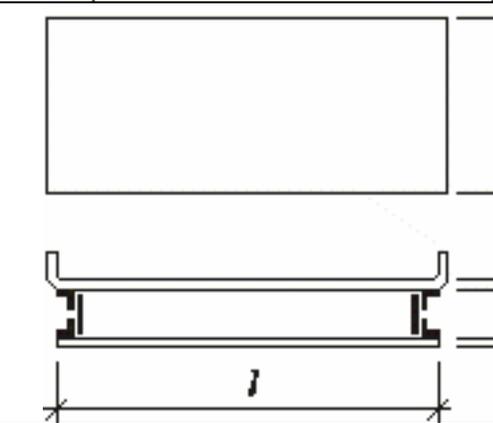
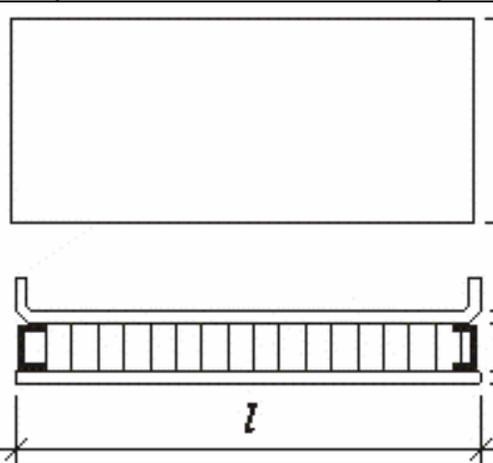
Основные типы ребристых панелей для жилищного, гражданского, сельскохозяйственного и другого строительства

№ п/п	Наименование и краткая характеристика панели	Схема и основные размеры	Материал и толщина обшивки	Вид среднего слоя
1	2	3	4	5
1.	<p><u>А. Панели с металлической обшивкой</u></p> <p>Простые без обрамления:</p> <p>а) навесные стеновые панели с обшивкой из металлических листов и средним слоем из пенопласта или сотопласта</p> <p>б) навесные стеновые панели с обшивкой из металлических листов и средним слоем из пенопласта или сотопласта и ребристыми из стальных гнутых профилей</p>		<p>Алюминиевые сплавы $\delta=0,8-1,2$ мм; защищенная сталь $\delta=0,5-1,0$ мм</p> <p>То же</p>	<p>Пенопласт ПСБ-ст. $\gamma=40$ кг/м³ Пенопласт ПВ-1 $\gamma=50-60$ кг/м³, сотопласт крафт-бумажный, минераловатные плиты, $\gamma=100-150$ кг/м</p> <p>То же</p>

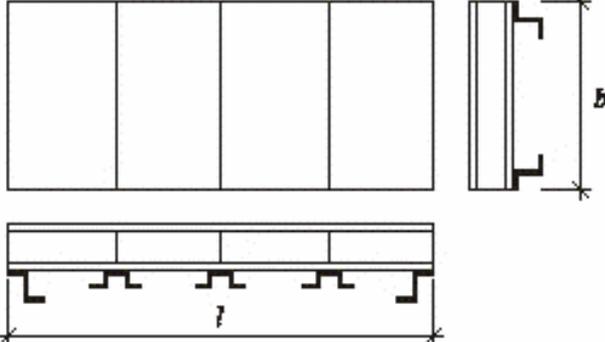
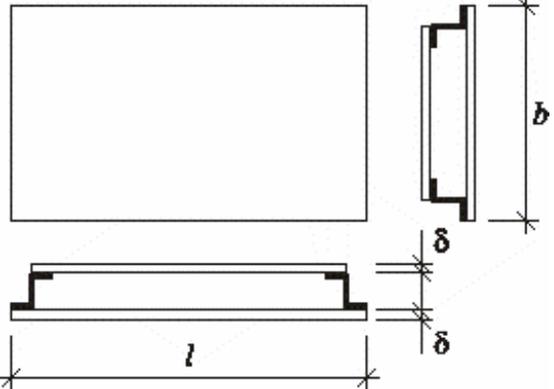
Продолжение табл. 1

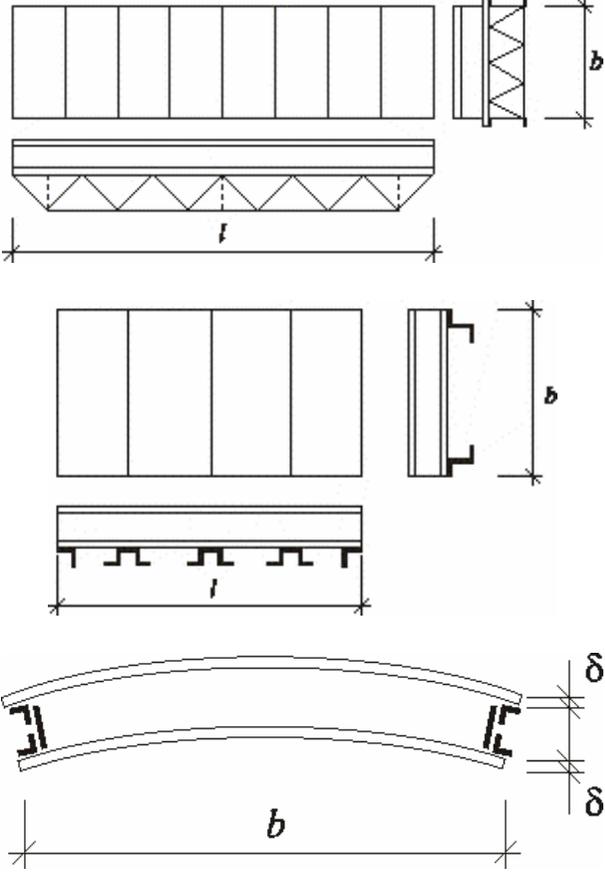
1	2	3	4	5
2.	Плиты покрытий с обшивкой из металлических листов со средним слоем из пенопласта и швеллерообразным обрамлением		То же	Пенопласт ПСБ-ст или ПВ-1 $\gamma=60 \text{ кг/м}^3$
3.	Плиты покрытий мембранного типа, опертые по 4-м сторонам, с обшивкой из металлических листов, средним слоем из пенопласта и стальных профилей		Алюминиевые сплавы $\delta=0,8-1,2 \text{ мм}$; защищенная сталь $\delta=0,5-1,0 \text{ мм}$	Пенопласт ПСБ-ст или ПВ-1 $\gamma=60 \text{ кг/м}^3$ сотовый крафт-бумажный
4.	Плиты покрытий, опертые по 4-м сторонам, с обшивкой из металлических листов, средним слоем из пенопласта, швеллерообразным обрамлением и ребрами из стальных профилей		То же	То же

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
5.	Плиты покрытия с ребрами в виде стальных прутковых прогонов		То же	То же
6.	Плиты покрытий и навесные стеновые панели с обшивкой из металлических листов, средним слоем из пенопласта и обрамлением из бакелизированной фанеры и металлических уголков		То же	То же
7.	Плиты подвесного потолка с верхней обшивкой из стального и нижней обшивкой из алюминиевого листов и обрамлением из стального профиля со средним слоем в виде решетки из твердых древесноволокнистых плит, пенопласта или сотопласта		Алюминиевый сплав $\delta=1,2$ мм, сталь $\delta=0,8$ мм	Плиты древесноволокнистые твердые (решетка), пенопласт, сотопласт

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
8.	<p>Блоки цилиндрических оболочек и сводов с обшивками из металлических листов, средним слоем из пенопласта и обрамлением из бакелизированной фанеры и металлических уголков</p>		<p>Алюминий $\delta=0,8-1,2$ мм, сталь $\delta=0,8-1,5$ мм</p>	<p>Пенопласт ПСБ-ст или ПВ-1, $\gamma=60$ кг/м³, сотопласт</p>
	<p><u>Б. Панели с обшивкой из неметаллических материалов</u> Панели с обрамлением или без обрамления с обшивками из асбестоцемента</p> <p>а) панели покрытия или навесные панели с обшивкой из плоских листов асбестоцемента, средним слоем из пенопласта и обрамлением из асбестоцемента</p>		<p>Асбестоцемент $\delta=8-10$ мм для покрытий и $\delta=6-8$ мм для стен</p>	<p>Пенопласт ПСБ-ст $\gamma=60$ кг/м³ для покрытий, $\gamma=30-40$ кг/м³ для стен. Пенопласт ФРП-1 $\gamma=60-100$ кг/м³</p>

1	2	3	4	5
9.	<p>б) Укрупненные плиты из трехслойных панелей с обшивкой из асбестоцемента, средним слоем из пенопласта и ребрами из стальных гнутых профилей</p> <p>в) Укрупненные плиты из трехслойных панелей с обшивкой из асбестоцемента, средним слоем из пенопласта и ребрами в виде стальных прутковых прогонов</p> <p>г) То же, но с ребрами из стальных гнутых профилей</p>		То же	То же
			То же	То же
			То же	То же

Окончание табл. 1

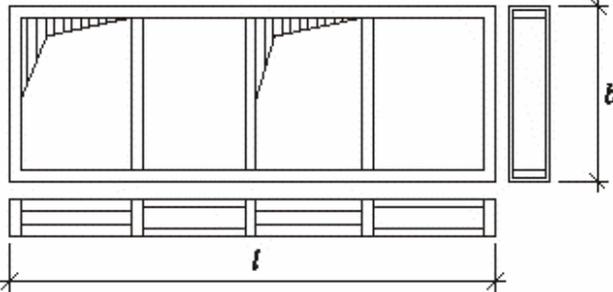
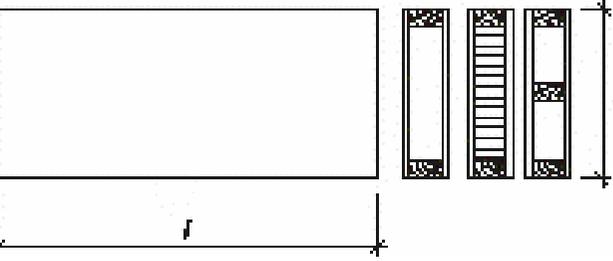
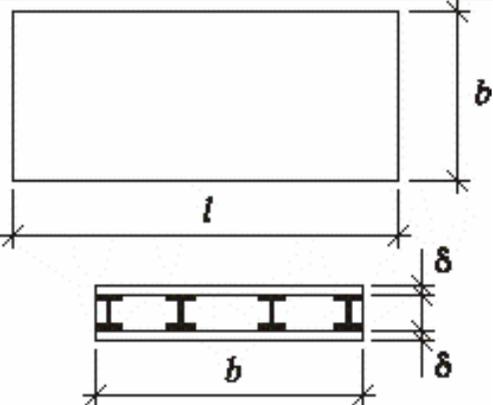
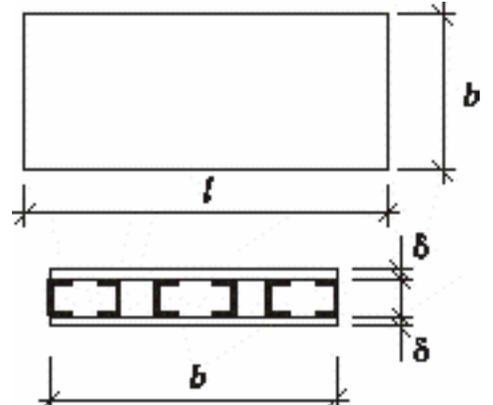
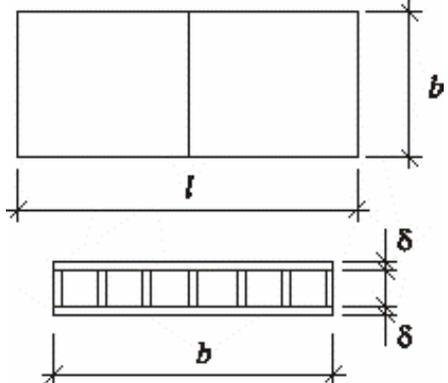
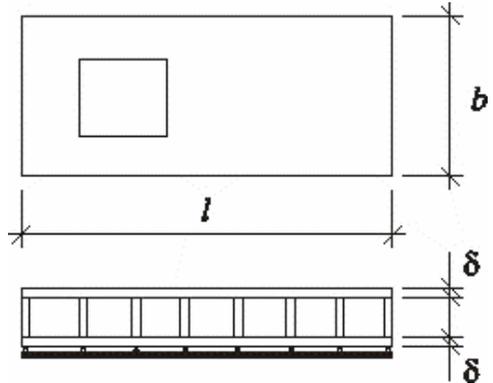
1	2	3	4	5
	д) Навесные стеновые панели, состоящие из несущей и обрамляющей рамы, выполненной из металлических профилей или древесины, оконного блока и глухой подоконной вставки с обшивкой из асбестоцемента и средним слоем из пенопласта		Асбестоцемент $\delta=6-8$ мм	Пенопласт ПСБ-ст $\gamma=30-40$ кг/м ³ , ФРП-1 $\gamma=60$ кг/м ³
10.	Навесные стеновые панели с обшивкой из древесных плит или стеклопластика, средним слоем из пенопласта и обрамлением из деревянных брусков		Древесноплитные материалы (фанера, ДВП, ПС и др.) $\delta=4-16$ мм, окрашенные или защищенные тонкими пластмассовыми или металлическими пленками, стеклопластик	Пенопласт, соты из ДВП или крафт-бумаги с эффективным утеплителем
11.	Плиты покрытий из тех же материалов	То же	То же	То же
12.	Панели перегородок из тех же материалов	То же	То же	То же

Таблица 2

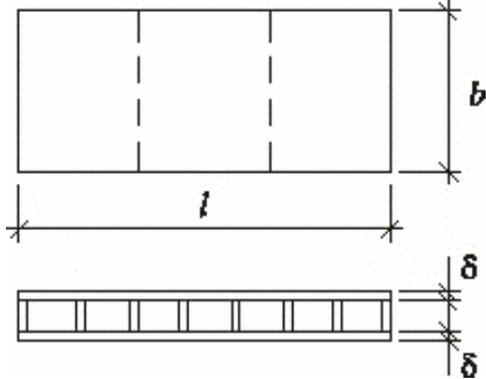
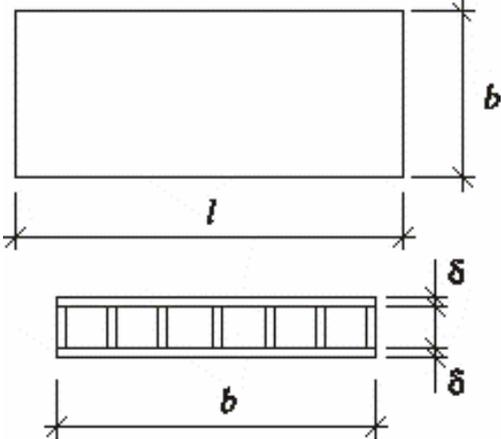
Основные типы ребристых панелей для жилищного, гражданского,
сельскохозяйственного и другого строительства

№ п/п	Наименование и краткая характеристика панели	Схема и основные размеры	Материал и толщина обшивки	Вид среднего слоя
1	2	3	4	5
1.	Клефанерная панель с обшивкой из клееной фанеры и профильными несущими ребрами из досок		Клееная фанера марки ФСФ $\delta=8-12$ мм	Минеральная вата $\gamma=100$ кг/м ³ , минераловатные плиты $\gamma=100-200$ кг/м ³
2.	Клефанерная панель с обшивкой из клееной фанеры и продольными несущими ребрами из фанерных швеллеров		Клееная фанера марки ФСФ $\delta=8-12$ мм	То же

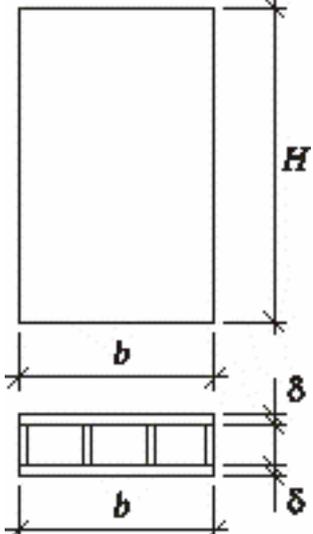
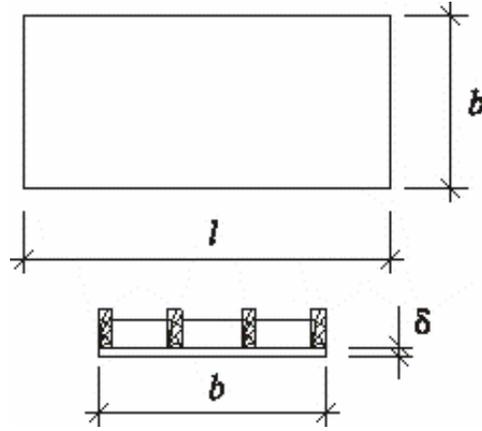
Продолжение табл. 2

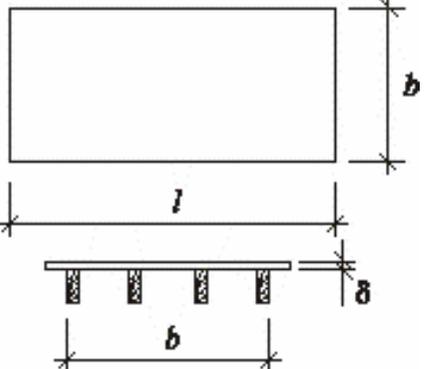
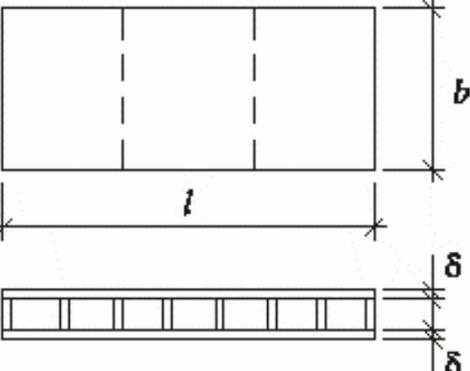
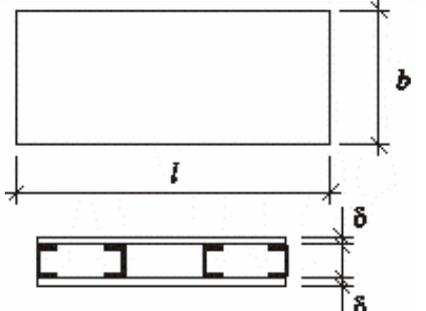
1	2	3	4	5
3.	Клееная панель перекрытия для малоэтажных домов с обшивками из древесно-стружечных плит и несущими ребрами из досок		Древесно-стружечная плита $\gamma=750 \text{ кг/м}^3$ $\delta=10-16 \text{ мм}$	То же
4.	Наружная стеновая панель для малоэтажных жилых домов с обшивками из древесно-стружечных плит и несущими ребрами из досок		То же	Минераловатные плиты $\gamma=150-200 \text{ кг/м}^3$, прошивные листы $\gamma=100-250 \text{ кг/м}^3$

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
5.	<p>Внутренняя стеновая панель малоэтажных домов с обшивками из древесно-стружечных плит и несущими ребрами из досок</p>	 <p>The drawing shows a perspective view of a rectangular panel with length l and height b. Two vertical dashed lines indicate the positions of internal ribs. Below it is a cross-section showing the panel's thickness, which consists of two layers of OSB (each δ thick) and a central layer of wooden ribs.</p>	То же	То же
6.	<p>Панели перекрытий и стен с обшивкой из цементно-стружечных плит и несущими ребрами из досок</p>	 <p>The drawing shows a perspective view of a rectangular panel with length l and height b. Below it is a cross-section showing the panel's thickness, which consists of two layers of cement-lime board (each δ thick) and a central layer of wooden ribs. The width of the cross-section is labeled b.</p>	Цементно-стружечная плита $\delta=10-12$ мм	То же

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
7.	Панели внутренних и наружных стен малоэтажных домов с обшивками из твердых древесноволокнистых плит и несущим каркасом из досок		Древесноволокнистая плита (ДВП) $\gamma > 950 \text{ кг/м}^3$ $\delta = 5-6 \text{ мм}$	То же
8.	Кровельная панель под асбестоцементную кровлю с нижней обшивкой из фанеры и несущими ребрами из досок		Клееная фанера марки ФСФ $\delta = 8-12 \text{ мм}$	Минеральная вата $\gamma = 75-100 \text{ кг/м}^3$ или минераловатные плиты $\gamma = 100-200 \text{ кг/м}^3$

1	2	3	4	5
9.	Кровельный щит с обшивкой из древесно-стружечных плит и несущими ребрами из досок		Древесно-стружечная плита $\gamma=750 \text{ кг/м}^3$ $\delta=13-16 \text{ мм}$	-
10.	Кровельная панель под рулонную кровлю с обшивкой из клееной фанеры и несущими ребрами из досок		Клееная фанера марки ФСФ $\delta=8-12 \text{ мм}$	-
11.	Панели стен, перекрытий и покрытий с обшивкой из плоских асбестоцементных листов и ребрами из досок или брусков или асбестоцементных швеллерных профилей		Плоские асбестоцементные листы $\gamma=1600 \text{ кг/м}^3$ $\delta=10 \text{ мм}$	Минеральная вата $\gamma=75-100 \text{ кг/м}^3$ или минераловатные плиты $\gamma=100-200 \text{ кг/м}^3$

Важным достоинством панелей из дерева и пластмасс являются их высокие теплофизические характеристики. В таких панелях можно добиться любого значения сопротивления теплопередачи. Кроме того, панели могут быть изготовлены с высокой степенью заводской готовности, эстетичны и, как правило, не требуют дополнительной отделки и больших затрат на последующее содержание их в процессе эксплуатации.

Благодаря всем этим достоинствам панели с металлическими обшивками и сплошным срединным слоем должны являться одним из основных решений кровельных ограждений промышленных зданий по металлическим фермам. Панели с обшивками из неметаллических материалов, приведенные в табл. 1, представляют большой интерес для малоэтажного жилищного сельскохозяйственного, общественного и другого строительства. Не менее эффективными являются панели, конструкция которых представляет ребристую систему (табл. 2), состоящую из несущих ребер и обшивок (одной или двух). Для таких панелей используются также легкие утеплители, что позволяет повысить теплофизические свойства стен и покрытий, учитывая современные возросшие архитектурные требования к теплофизическим расчетам наружных ограждений зданий.

Строительные трехслойные панели типа «Венталл»

В 1998 году завод металлоконструкций «Венталл» (г. Балабаново, Калужская область) первым из производителей запустил в эксплуатацию цех по изготовлению стеновых и кровельных панелей с утеплителем из минеральной ваты. Трехслойные панели находят применение в промышленном и гражданском строительстве в качестве ограждающих конструкций стен и покрытий различных зданий и сооружений.

Производство трехслойных панелей оснащено современной технологической линией, позволяющей выпускать эти панели непрерывным потоком в автоматическом режиме. Мощность линии по производству панелей с минеральным утеплителем составляет 600000 м² в год.

Основными достоинствами панелей типа «Венталл» являются: небольшой вес, прекрасная теплоизоляция, легкость сборки – разборки, прочность, высокая влагостойкость, огнестойкость и шумоизоляционные характеристики, устойчивое антикоррозийное покрытие, низкая стоимость панелей и др.

Компания «Венталл» выпускает два типа стеновых панелей – Венталл-С3 (Z-Lock) и Венталл-С4 (Secret Fix) и кровельную панель Венталл-К (5 Rib DRP). Габаритные размеры панелей приведены в табл.3. Все панели могут иметь различные варианты профилирования металлических обшивок. У кровельной панели наружная металлическая обшивка имеет пять высоких гофров, что увеличивает жест-

кость панели. Стыковка по продольным кромкам панели осуществляется посредством замков по принципу «шип-паз». Кровельная панель по верхней обшивке стыкуется нахлестом двух смежных гофров. Между собою стеновые панели различают способом примыкания друг к другу и способом крепления к несущим элементам каркаса с помощью самонарезающих винтов или с применением крепежных элементов (скоб). Стеновые панели «Венталл-С3» могут монтироваться как горизонтально, так и вертикально, а панели «Венталл-С4» – только горизонтально.

Т а б л и ц а 3

Размеры выпускаемых панелей

Параметр	Венталл-С3	Венталл-С4	Венталл-К3
Модульная ширина, мм	1190	1140	1000
Толщина, мм	50–250	50–150	50–200
Длина, мм	2500–12000	2500–12000	2500–12000

Панели комплектуются полным набором нащельников, крепежными изделиями, фасонными деталями и всеми другими доборными элементами.

В качестве теплоизоляционного слоя (сердечника) в панелях «Венталл» используются минераловатные плиты, производимые из сырьевой смеси на основе базальтового волокна и синтетического связующего. Из минераловатных плит нарезаются ламели с вертикальной ориентацией волокон, которые составляют основное ядро сердечника.

Плотность плит для производства стеновых панелей составляет 105–120 кг/м³, а для кровельных панелей – 120–140 кг/м³.

В качестве обшивок панелей используются профилированные оцинкованные стальные листы толщиной 0,5-0,7 мм. Наружные поверхности листов имеют коррозионно-стойкое полимерное или лакокрасочное покрытие, а внутренняя поверхность – защитный полиэфирный или эпоксидный грунт.

Для обеспечения прочного соединения обшивок и утеплителя используют высококачественный клей на полиуретановой основе.

Высокая несущая способность и жесткость панели обеспечивается совместной работой стальных обшивок и поперечно-ориентированных волокон утеплителя за счет прочного клеевого соединения.

Общий вид панелей «Венталл-С3, Венталл-С4 и Венталл-К3» приведен на рис. 11, 12, 13.

Основные физико-механические показатели материалов среднего слоя и обшивок приведены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики материалов среднего слоя
и обшивок панелей «Венталл»

№ п/п	Наименование показателя	Ед. измерения	Значение показателя		
	<i>Минераловатные плиты</i>				
1	Плотность	кг/м	105	120	140
2	Прочность при сжатии, не менее	КПа	60	80	105
3	Прочность на растяжение, не менее	КПа	100	100	100
4	Прочность на сдвиг при изгибе, не менее	КПа	50	75	75
5	Расчетная теплопроводность в сухом состоянии	Вт /м·К	0,049	0,050	0,051
6	Влажность, % по массе, не более	%	1,0	1,0	1,0
7	Паропроницаемость, не менее	мг/(м·ч·Па)	0,33	0,33	0,32
	<i>Металлические обшивки</i>				
1	Предел текучести	МПа	205-250		
2	Предел прочности	МПа	270-420		
3	Относительное удлинение	%	21		



Рис. 11. Общий вид панелей «Венталл»

Типовое обозначение	Стандартная толщина Н, мм	Толщина листа металлических обшивок, мм	Описание*
Венталл -C4gg -C4vv -C4mm -C4tt	50; 80; 100 120; 150	0,50 0,55 0,60 0,63 0,70	Профилирование обшивок: - гладкий лист; - 5 V-образных канавок; - мелкопрофильное; - трапецидальное ступенчатое

* Возможны различные комбинации профилирования металлических обшивок: первая буква обозначает вид профиля наружной поверхности, а вторая вид профиля внутренней поверхности панели.

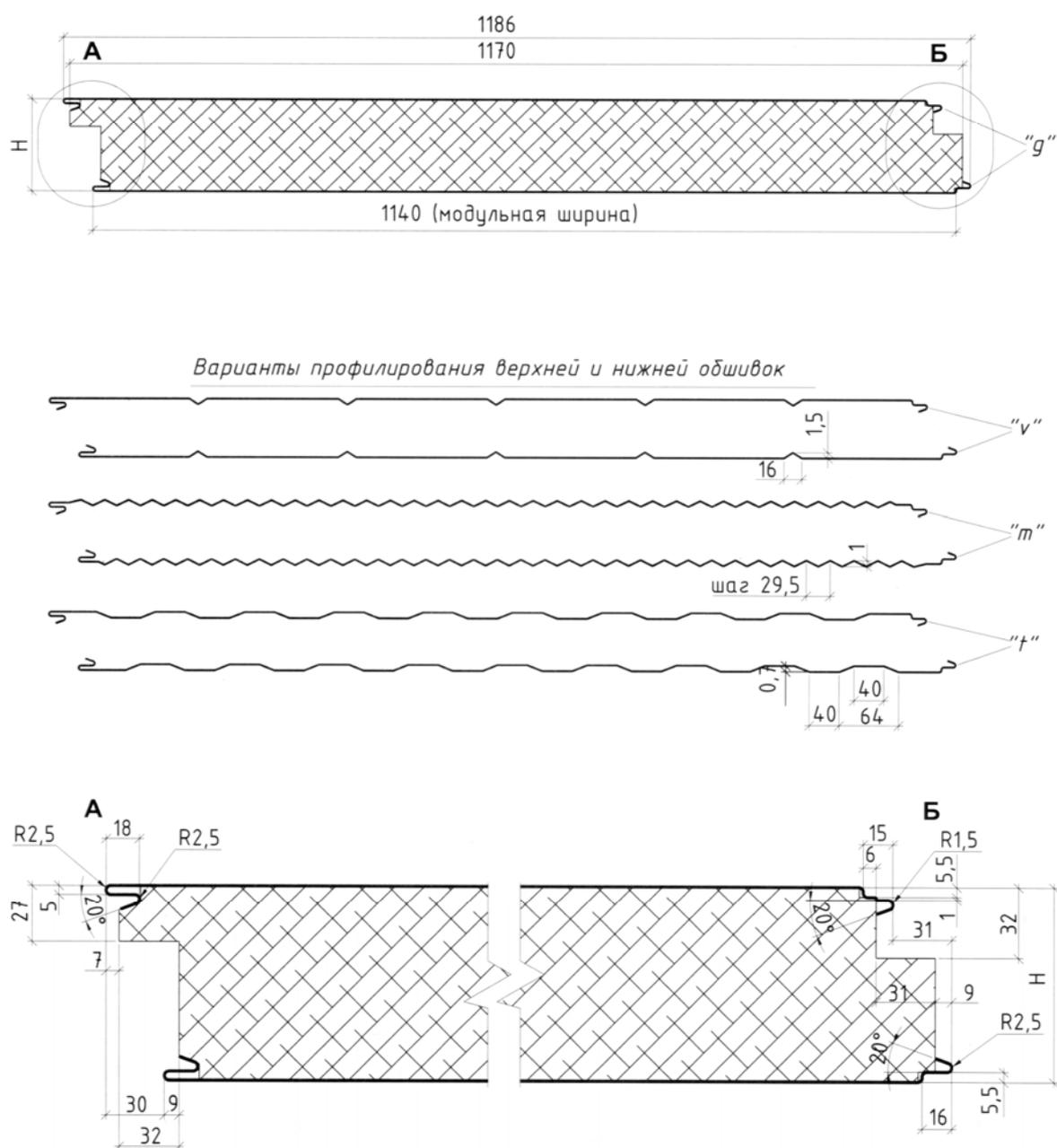
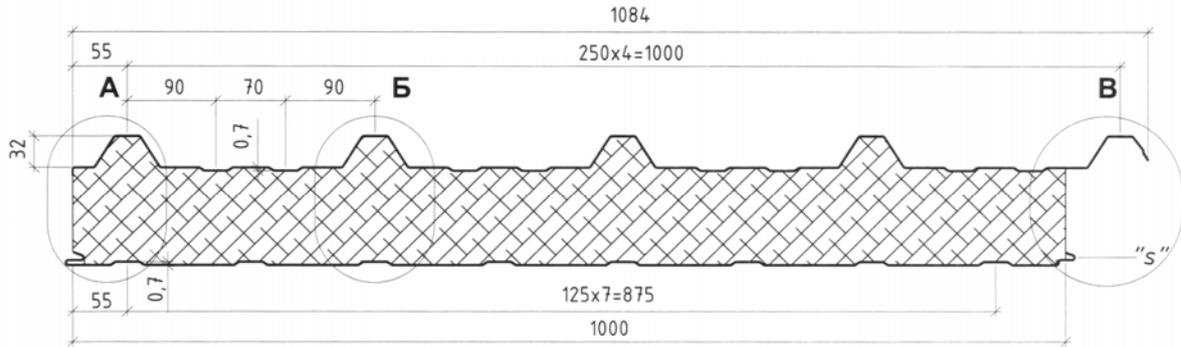


Рис. 12. Панель «Венталл-С»-4.
Стеновые трехслойные панели «Венталл»
с несгораемым утеплителем из минеральной ваты

Типовое обозначение	Стандартная толщина Н, мм	Толщина листа металлических обшивок, мм	Описание
Венталл			Профилирование нижней обшивки:
-K3s		0,50	- стандартное ступенчатое;
-K3g	50; 80; 100	0,55	- гладкий лист;
-K3v	120; 150; 180;	0,60	- V-образные канавки;
-K3m	200	0,63	- мелкопрофильное;
-K3t		0,70	- трапецидальное ступенчатое



Варианты нижней обшивки

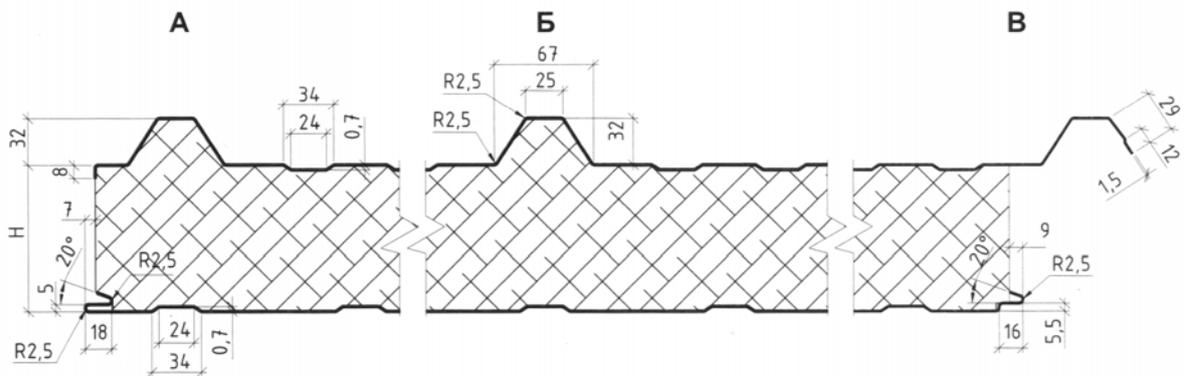
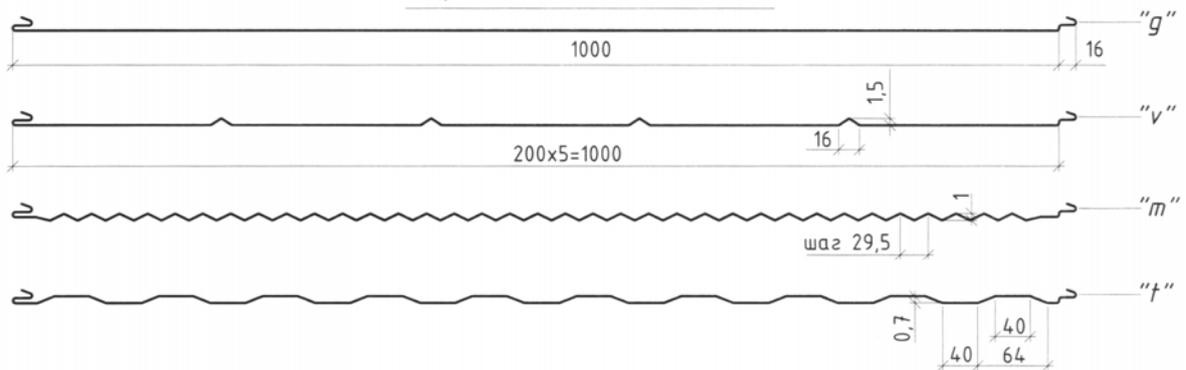


Рис. 13. Панель «Венталл-К»-3.
Кровельные трехслойные панели «Венталл»
с несгораемым утеплителем из минеральной ваты

Для проведения теплотехнических расчетов панелей в табл. 5 приведены значения сопротивления теплопередаче сэндвич-панелей системы «Венталл» в зависимости от плотности применяемых плит для срединного слоя и с учетом расчетного коэффициента теплопроводности минераловатных плит.

Т а б л и ц а 5

Сопротивление теплопередачи R , м·С/Вт, панелей

Тип панели	Толщина панели, мм	Сопротивление теплопередачи R , м·С/Вт, при плотности минераловатного утеплителя			
		105 кг/м	120 кг/м	1120 кг/м	140 кг/м
Вентал-С3 и Венталл-С4	50	1,18	1,16		
	80	1,79	1,76		
	100	2,20	2,16		
	120	2,61	2,56		
	150	3,21	3,16		
	180	3,83	3,76		
	200	4,24	4,16		
	250	5,26	5,16		
Венталл-КЗ	50			1,16	1,14
	80			1,76	1,73
	100			2,16	2,12
	120			2,56	2,51
	150			3,16	3,10
	180			3,76	3,69
	200			4,16	4,08

Трехслойные панели типа «Сэндвич»

Панели типа «Сэндвич» с минераловатным утеплителем из базальтового волокна, производства фирм «PAROC», «ROCKWOOL», «ИЗОМАТ», выпускаемые компанией «Электроцит»-ТМ (г. Самара) по технологии фирм Хилленг (Австралия) и Pkwang (Южная Корея), практически аналогичны панелям типа «Венталл». Исходные материалы утеплителя и стальных обшивок, как и сама технология изготовления панелей, приняты такими же, как и в панелях «Венталл». Однако приоритет в выборе материалов и технологических операций изготовления отдается иностранным фирмам, поэтому некоторые параметры выпускаемых панелей «Сэндвич» несколько отличаются от панелей типа «Венталл».

Панели «Сендвич» выпускаются 11-ти типов: стеновые (тип 1, 2, 3, 4 ПТСМК), кровельные (тип 6, 7, 8, 9, 10 ПТСМА) и угловые (тип 11 ПТСМК). Панели стеновые имеют размеры: длина – 1500–12000, ширина габаритная – 1016, 1047, 1206 мм; ширина монтажная – 1000, 1190 мм. Верхняя и нижняя обшивки выполнены с трапециевидными гофрами.

Панели кровельные выпускаются с размерами: длина – 1500–12000 мм, ширина габаритная – 1206, 1085, 1063, 1022 мм; ширина монтажная – 1190, 1000 мм.

Верхняя обшивка имеет преимущественно высокие трапециевидные гофры, нижняя обшивка – мелкие трапециевидные гофры.

Общий вид панели стеновой и кровельной показан на рис. 14, 15 и 16.

Использование минерального утеплителя из базальтового волокна повышает огнестойкость и позволяет применять панели типа «Сендвич» в различных климатических зонах в качестве стеновых и кровельных ограждающих конструкций без изменения их теплоизоляционных свойств.

Сравнительный анализ эффективности теплотехнических характеристик панелей по сравнению с другими материалами приведен в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

Сравнительный анализ теплотехнической эффективности

Материал ограждения	Эквивалентная по теплопроводности толщина
Панель типа «Сендвич» с негорючим минераловатным утеплителем из базальтового волокна	80 мм
Деревянный брус (сосна, ель)	250 мм
Керамзитобетон	560 мм
Кирпич керамический пустотелый	710 мм
Кирпич глиняный обыкновенный	1200 мм

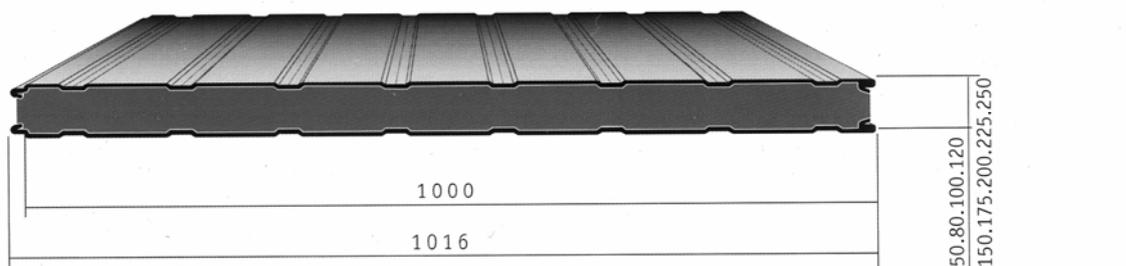
Некоторые узловые решения панелей приведены на рис. 15 и 16.

ТИПЫ ПАНЕЛЕЙ

Австралийская линия СТЕНОВЫЕ

Тип 1

(заводская маркировка ПТСМА)



Длина — 1500–12 000 мм

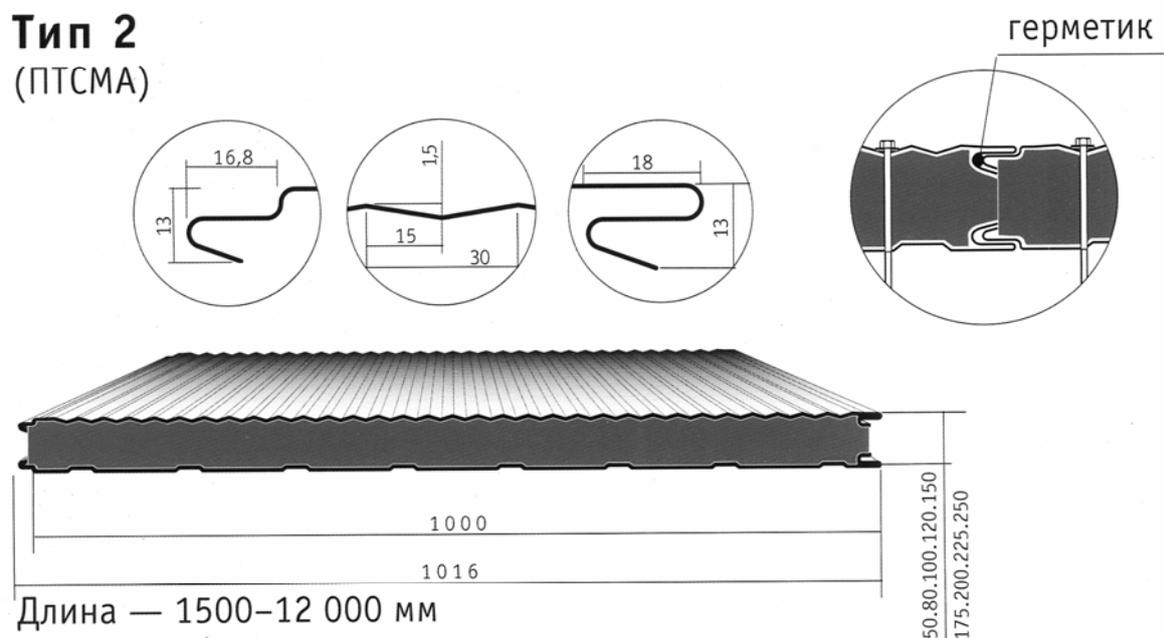
Ширина габаритная — 1016 мм

Ширина монтажная — 1000 мм

Верхняя и нижняя облицовка с трапециевидными гофрами

Тип 2

(ПТСМА)



Длина — 1500–12 000 мм

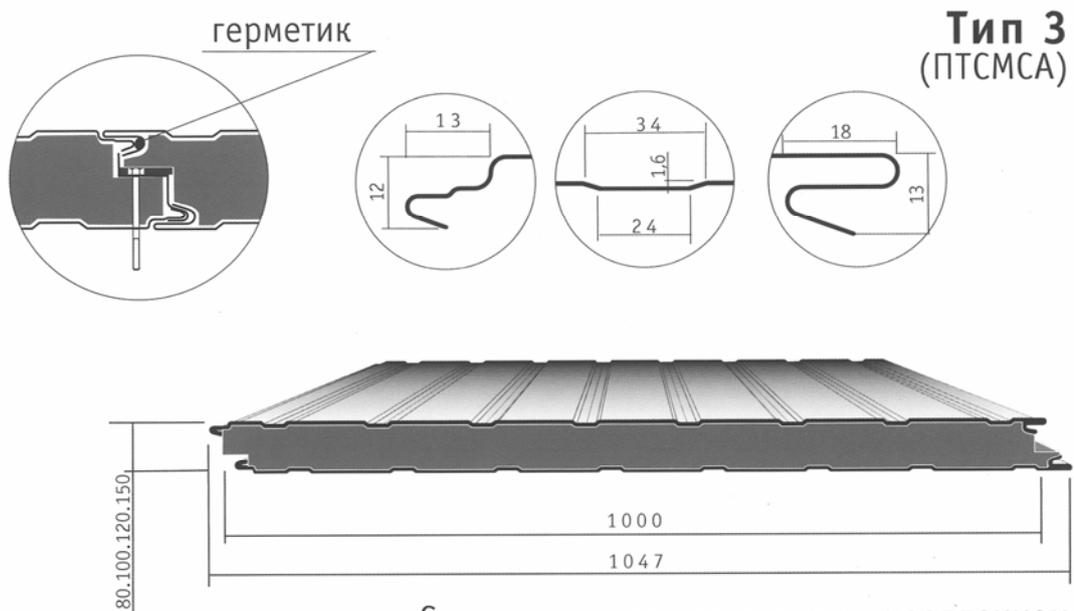
Ширина габаритная — 1016 мм

Ширина монтажная — 1000 мм

Верхняя облицовка линованная

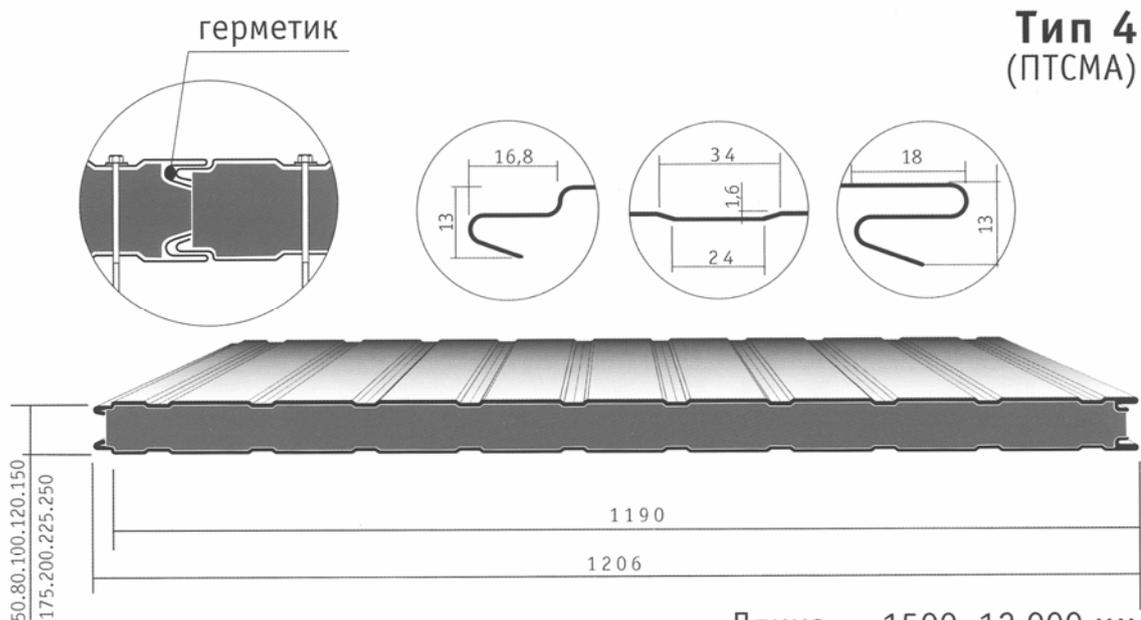
Нижняя облицовка с трапециевидными гофрами

Рис.14. Типы стеновых и кровельных панелей «Сендвич» (начало)



Тип 3
(ПТСМСА)

Стеновая панель со скрытым креплением
 Длина — 1500–12 000 мм
 Ширина габаритная — 1047 мм
 Ширина монтажная — 1000 мм
 Верхняя и нижняя облицовка с трапециевидными гофрами

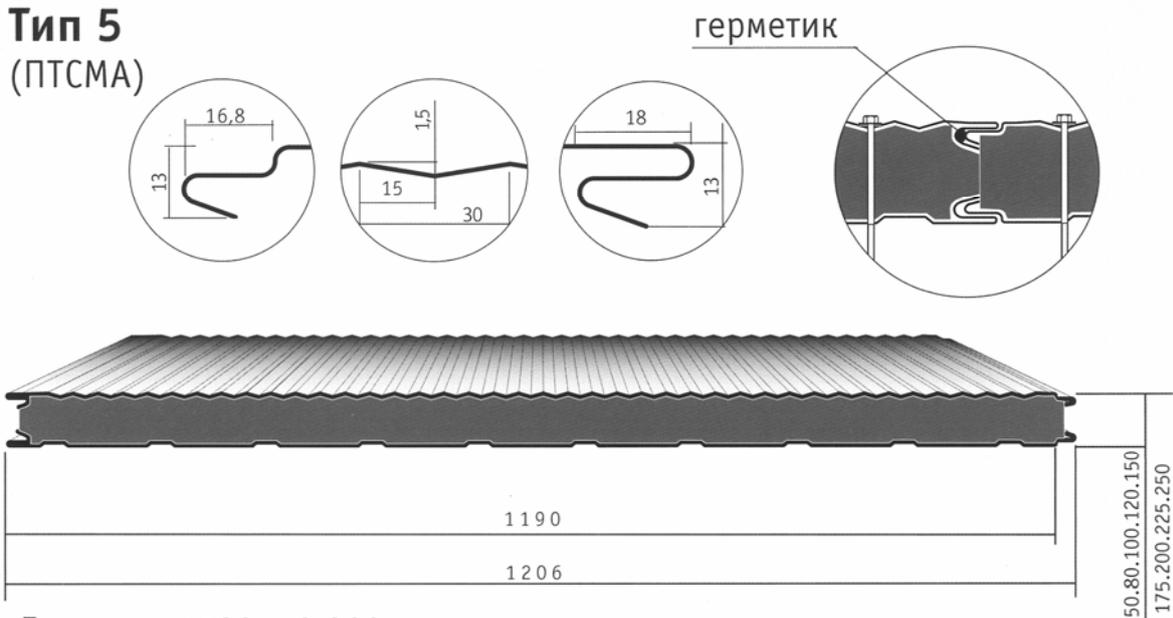


Тип 4
(ПТСМА)

Длина — 1500–12 000 мм
 Ширина габаритная — 1206 мм
 Ширина монтажная — 1190 мм
 Верхняя и нижняя облицовка с трапециевидными гофрами

Рис.14. Типы стеновых и кровельных панелей «Сендвич» (продолжение)

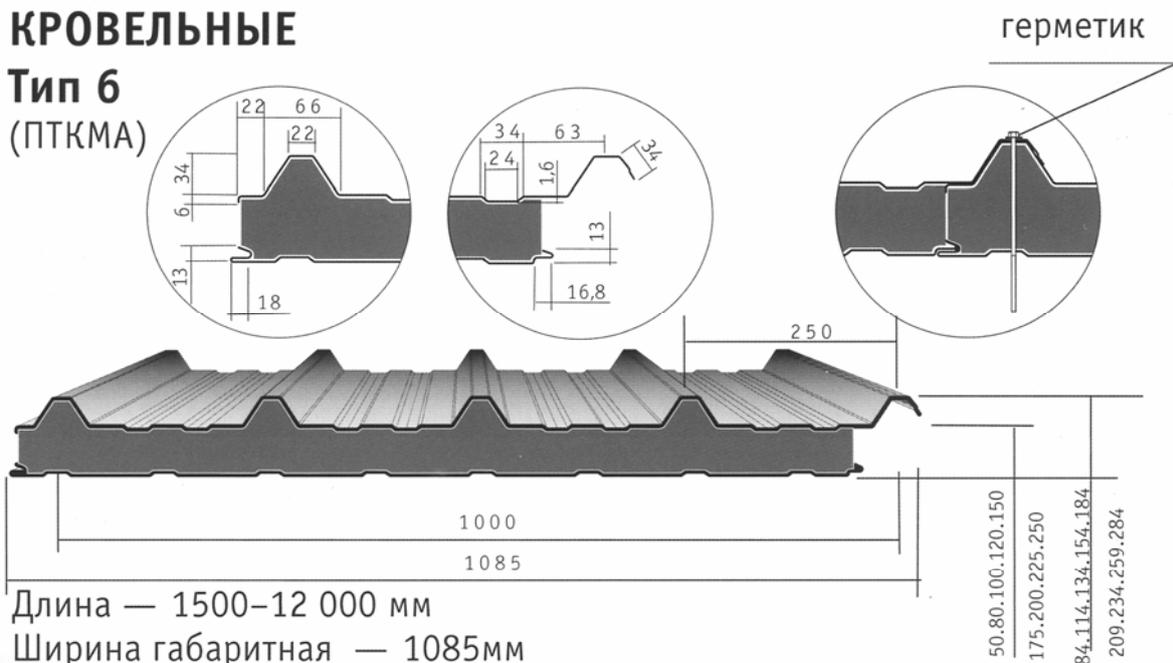
Тип 5
(ПТСМА)



Длина — 1500–12 000 мм
 Ширина габаритная — 1206 мм
 Ширина монтажная — 1190 мм
 Верхняя облицовка линованная
 Нижняя облицовка с трапециевидными гофрами

КРОВЕЛЬНЫЕ

Тип 6
(ПТКМА)

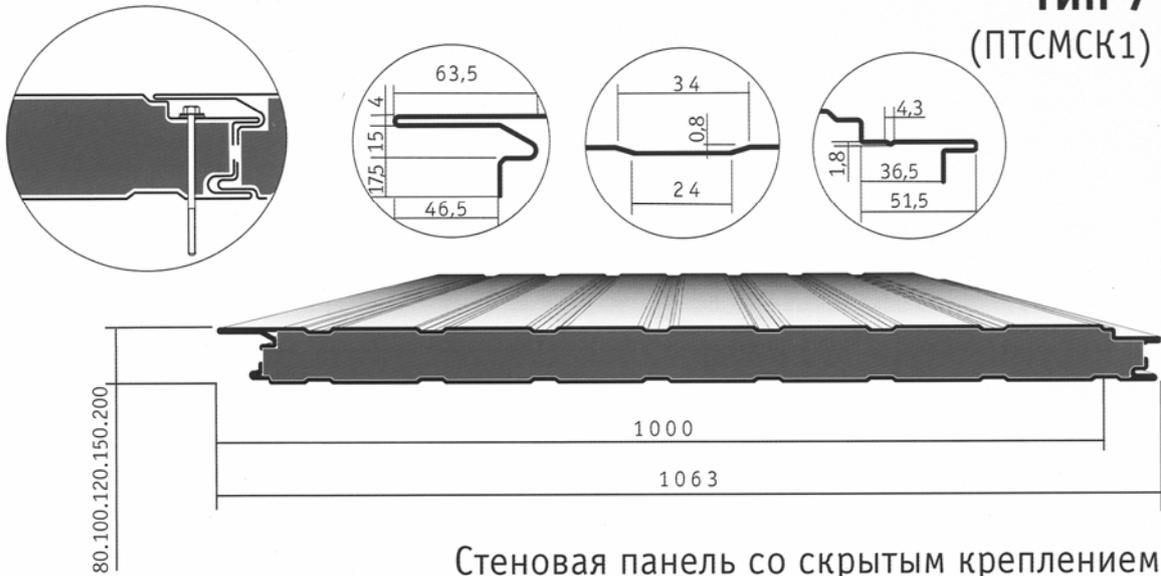


Длина — 1500–12 000 мм
 Ширина габаритная — 1085 мм
 Ширина монтажная — 1000 мм
 Верхняя облицовка с высокими трапециевидными гофрами
 Нижняя облицовка с трапециевидными гофрами

Рис.14. Типы стеновых и кровельных панелей «Сендвич» (продолжение)

Корейская линия

Тип 7 (ПТСМСК1)



Стеновая панель со скрытым креплением

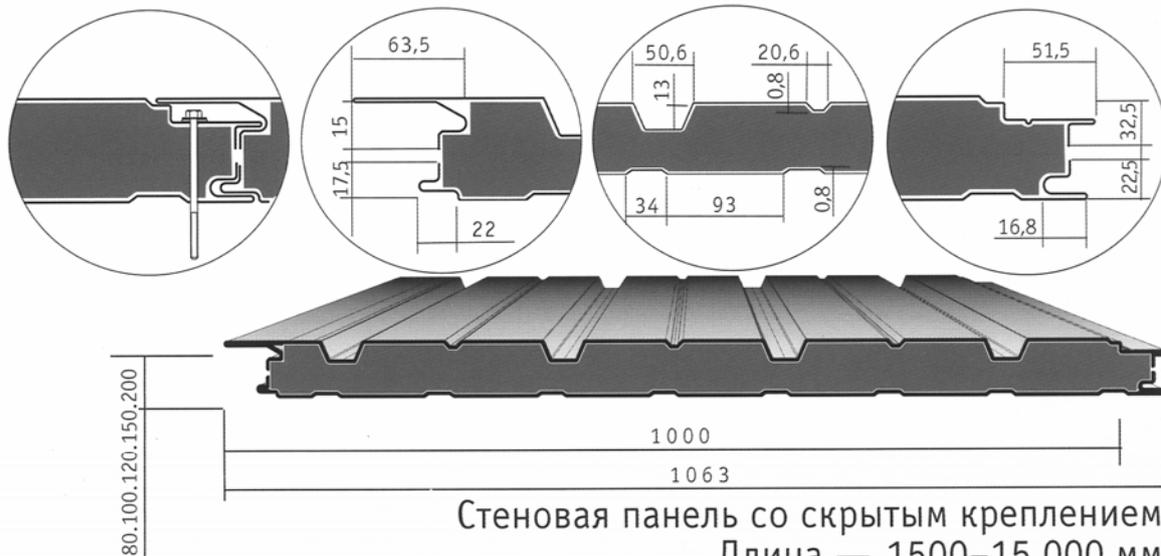
Длина — 1500–15 000 мм

Ширина габаритная — 1063 мм

Ширина монтажная — 1000 мм

Верхняя и нижняя облицовка с трапециевидными гофрами

Тип 8 (ПТСМСК2)



Стеновая панель со скрытым креплением

Длина — 1500–15 000 мм

Ширина габаритная — 1063 мм

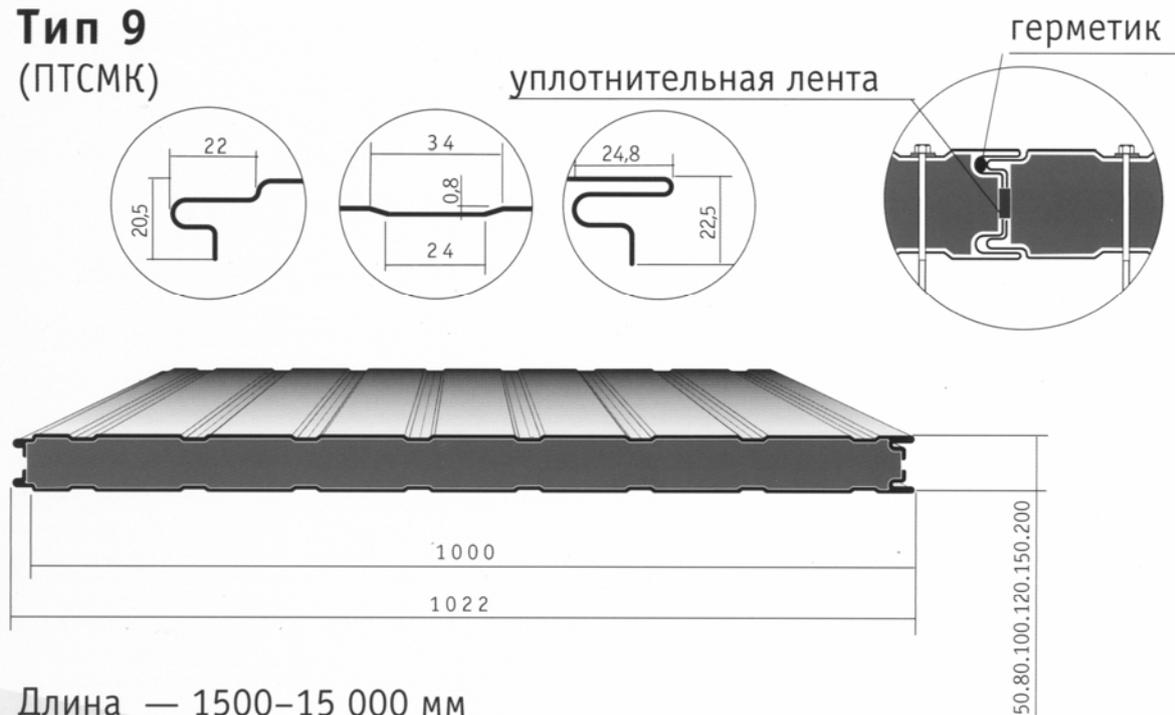
Ширина монтажная — 1000 мм

Верхняя облицовка с глубокими трапециевидными гофрами

Нижняя — с мелкими трапециевидными гофрами

Рис.14. Типы стеновых и кровельных панелей «Сендвич» (продолжение)

Тип 9 (ПТСМК)



Длина — 1500–15 000 мм

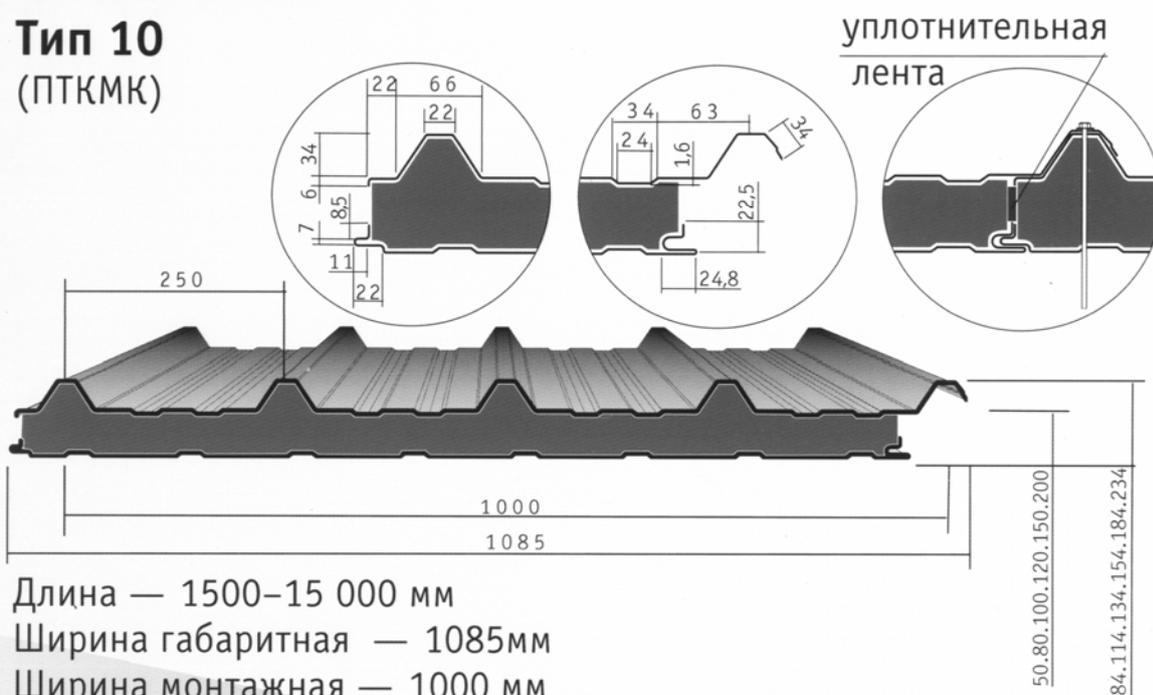
Ширина габаритная — 1022 мм

Ширина монтажная — 1000 мм

Верхняя и нижняя облицовка с трапециевидными гофрами

КРОВЕЛЬНЫЕ

Тип 10 (ПТКМК)



Длина — 1500–15 000 мм

Ширина габаритная — 1085 мм

Ширина монтажная — 1000 мм

Верхняя облицовка с высокими трапециевидными гофрами

Нижняя облицовка с трапециевидными гофрами

Рис.14. Типы стеновых и кровельных панелей «Сендвич» (окончание)

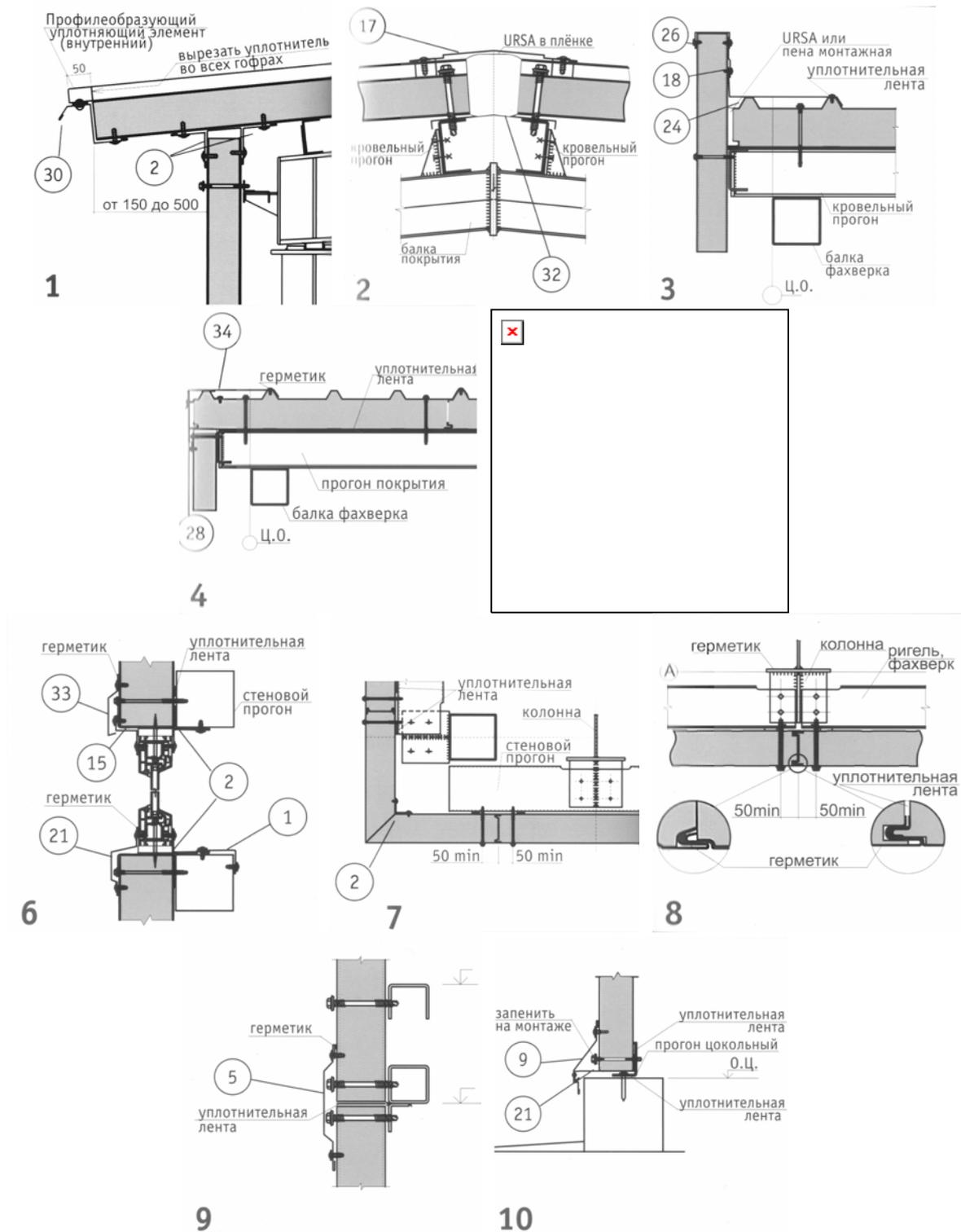


Рис. 15. Узлы крепления при вертикальном расположении панелей:
 1 – карнизный узел сопряжения стеновых и кровельных панелей;
 2 – коньковое сопряжение кровельных панелей; 3 – парапетное сопряжение стеновых и кровельных панелей; 4 – продольный замок кровельных панелей с крепежом на опорах и в пролете; 5 – обрамление проема откатных ворот;
 6 – обрамление оконных проемов; 7 – наружный угол стены (с использованием угловой стеновой панели);
 8 – вертикальный стык стеновых панелей на рядовом ригеле фахверка;
 9 – поперечный горизонтальный стык стеновых панелей на опорном ригеле фахверка; 10 – опирание стеновых панелей на цоколь

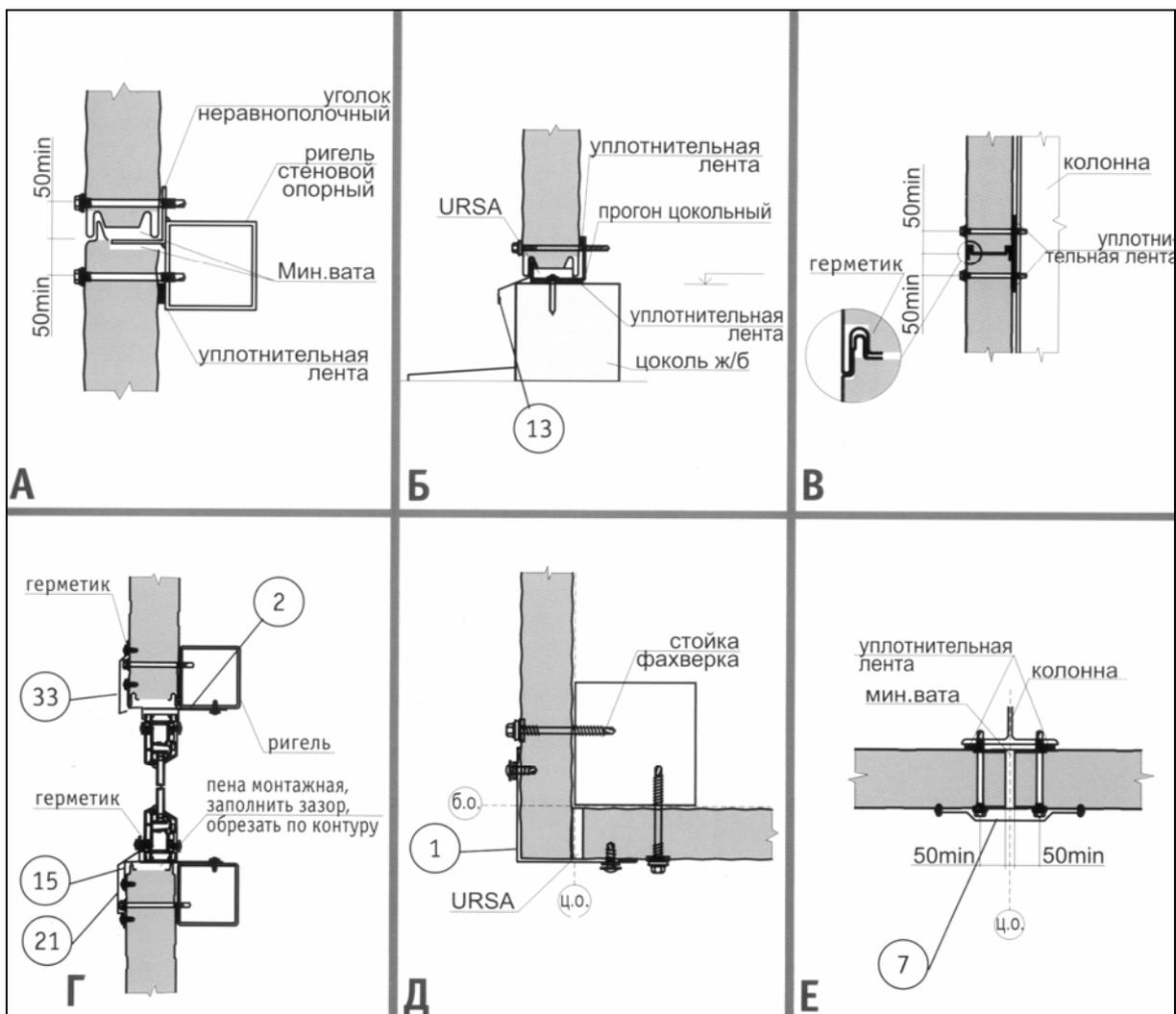


Рис. 16. Узлы крепления при горизонтальном расположении панелей:
 А – крепление стеновых панелей к ригелю; Б – опирание стеновых панелей;
 В – вертикальный стык стеновых панелей; Г – обрамление оконного проема;
 Д – наружный угол стены; Е – горизонтальный стык стеновых панелей

5.2. Материалы для элементов панелей и их основные характеристики

Вид материалов для элементов панелей определяется их назначением в общей конструкции панели. Для обшивок, являющихся основными несущими и ограждающими элементами панели, применяют прочные листовые материалы (плоские и волнистые) из асбестоцемента, алюминия, нержавеющей стали, стеклопластика, фанеры, древесно-стружечных плит или другие на основе древесины. Элементы обрамления, предохраняющие панель от механических повреждений и увлажнения, а также способствующие удобному и надежному креплению панелей к несущим конструкциям, выполняются, как и обшивки, из прочных материалов. В ребристых панелях роль обрамления могут выполнять крайние (кромочные) ребра.

Для среднего слоя панелей применяются различного рода пено- и поропласты, сотопласты, соты из древесно-волоконистых плит и т.п. Кроме того, в ребристых панелях участки между ребрами могут быть заполнены утеплителем из таких материалов, как минеральная вата, минераловатные плиты, вермикулит, вспученный перлит и др. Ниже приводятся основные характеристики материалов, наиболее широко применяемых в ограждающих панелях стен и покрытий.

5.2.1. Материалы для обшивок панелей

Асбестоцемент. Этот материал является наиболее дешевым и доступным при изготовлении панелей. Наша промышленность выпускает асбестоцементные листы плоские и профилированные. Плоские листы изготавливают двух марок: прессованные (П) и непрессованные (НП) с окрашенной или офактуренной лицевой поверхностью. Листы имеют размеры: длина – 3600, 3200, 3000, 2500, 2000 мм, ширина – 1500, 1200, 800 мм, толщина – 12, 10, 8, 6, 5 и 4 мм. Объемная масса – 1450–1890 кг/м³.

Профилированные листы могут быть волнистые обыкновенного (ВО) или усиленного (ВУ) профилей. Волнистые листы обыкновенного профиля выпускаются размером 1200×686 мм, толщиной 5,5 мм, а усиленного – 2800×1000 мм, толщиной 8 мм. Выпускаются также волнистые листы с унифицированным профилем (УВ), имеющие увеличенную высоту волн. Размеры листов УВ-1750 – 2500×1125 мм при толщине 6 и 7,5 мм. Основные размеры профилей листов ОБ, ВУ, УВ показаны на рис.17 и приведены в табл.7.

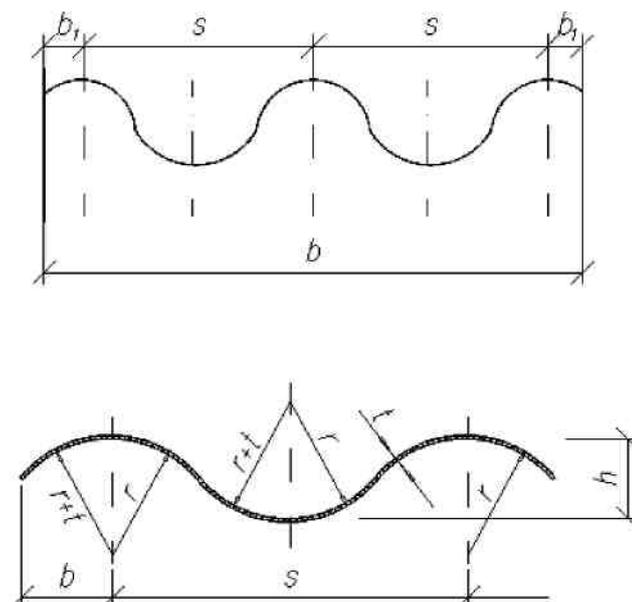


Рис.17. Профиль асбестоцементных волнистых листов

Размеры профилей асбестоцементных листов

Размер	Тип волнистых листов			
	ОВ	ВУ	УВ-6	УВ-7,5
S , мм	115	167	200	200
h , мм	28	50	54	54
t , мм	5,5	8	6	7,5
W , см ³ /м	36,6	104	80	100

Нормативные и расчетные характеристики асбестоцементных листов приведены в приложении (табл. 3П).

К недостаткам асбестоцемента относятся пониженная прочность при насыщении водой, хрупкость и коробление при изменении влажности. Кроме того, при изменении влажности и температуры асбестоцементные листы могут деформироваться, поэтому при креплении их к каркасу гвоздями или шурупами жестко крепят только верхнюю кромку листа, а отверстия для нижнего крепления делают продолговатыми с тем, чтобы гвозди или шурупы не препятствовали деформации листа. Плоские асбестоцементные листы, ввиду опасности деформирования под влиянием температурно-влажностных воздействий, должны иметь водостойкие покрытия (покраску водостойкими эмалями или гидроизоляционную наклейку из нескольких слоев рубероида).

Алюминий. Для панелей обычно применяют листы из алюминиевых сплавов толщиной 0,8 – 1,5 мм. Они имеют размеры 600...2000×2000...7200 мм. В целях повышения жесткости в качестве обшивок панелей целесообразно применять профилированные алюминиевые листы (рис. 18), которые изготавливаются из алюминиевой рулонной ленты.

Основные расчетные и нормативные характеристики алюминиевых сплавов, применяемых в строительстве, приведены в приложении. Преимущества алюминиевых сплавов – малая масса, высокая прочность, стойкость против коррозии (в 10-20 раз выше, чем у стали). Однако они, в свою очередь, не лишены недостатков: низкий модуль упругости, более высокий, чем у стали, коэффициент линейного расширения, пониженная огнестойкость. И, кроме того, в целом обшивки из алюминиевых сплавов дороже, чем из нержавеющей или плакированной стали.

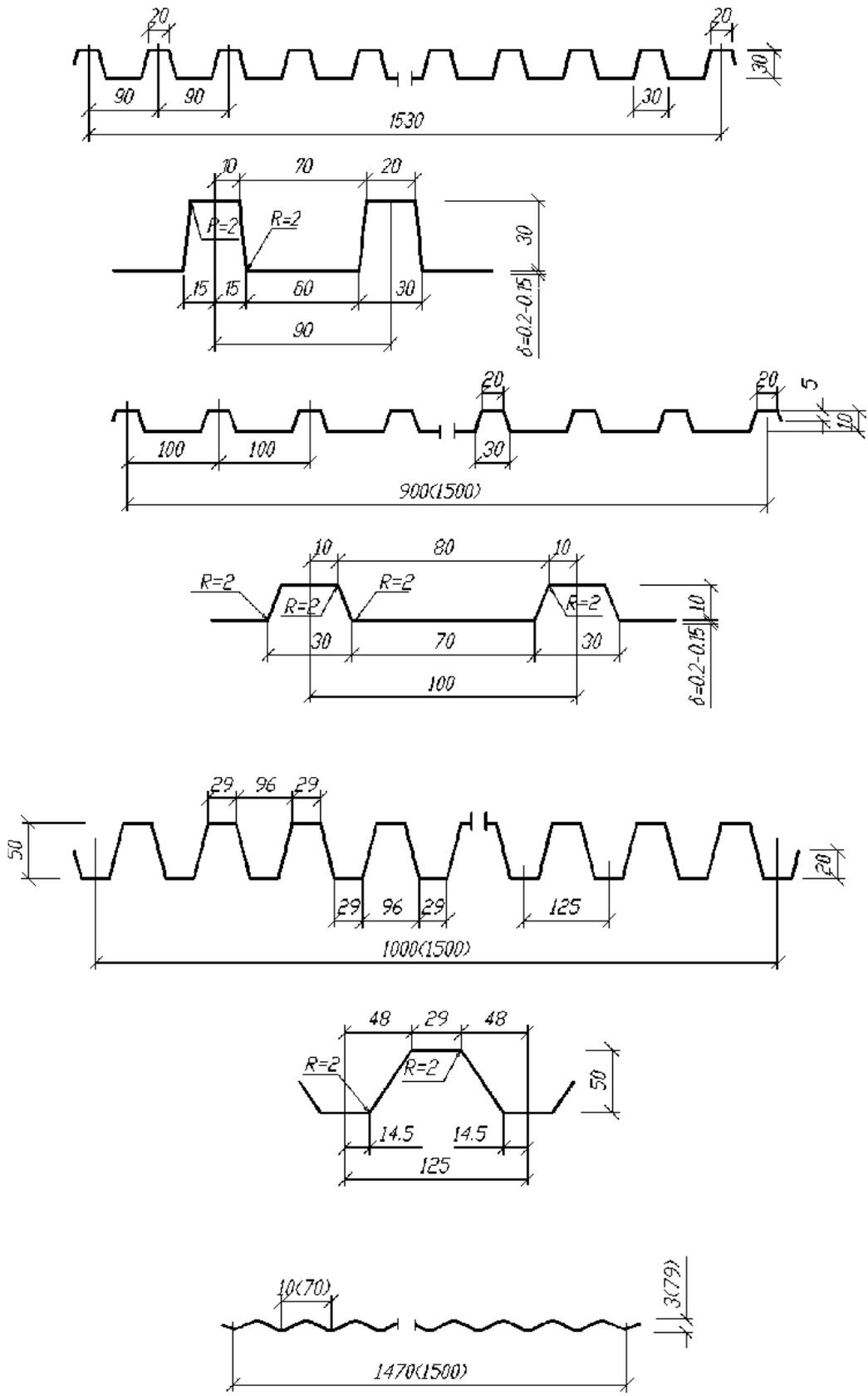


Рис. 18. Сечения профилированных настилов из алюминиевых сплавов

Стальные профилированные листы

Стальные листовые профили гнутые с трапециевидными гофрами из оцинкованной и окрашенной стали широко применяются в строительстве для изготовления кровельных покрытий (панелей покрытия), а также в качестве несущих элементов покрытий и перекрытий. Эффективным применением стальных профилированных листов является использование их при изготовлении трехслойных панелей стен и покрытий со средним слоем из пенопласта или минераловатных плит. В этом случае наиболее полно используются прочностные и эксплуатационные качества стального листового материала.

Типы профилированных стальных листов, предназначенных для изготовления трехслойных панелей, а также их основные характеристики приведены на рис. 12, 13 и в табл. 8. Применение таких листов в трехслойных панелях типа «Венталл» и «Сендвич» показано выше.

Применяемые профили изготавливают, как правило, на импортном оборудовании финской, французской или корейской фирм из рулонной оцинкованной или оцинкованной и окрашенной стали.

Длина профилированных листов – до 12 м, толщина – 0,4-0,9 мм, ширина листов приведена на рис. 19.

Наша промышленность выпускает профилированные листы усиленного профиля и увеличенной толщины 1-4 мм, с размерами по ширине 400–1500 мм и длине до 12000 мм. Также листы могут использоваться в качестве самостоятельных несущих настилов, предназначенных для поддержания вышележащих составных частей покрытия или перекрытия (утеплителя, стяжки, кровли и др.). Используемые в таких случаях профилированные листы называют «профнастил».

Наиболее часто встречаемые в практике строительства профилированные листы такого типа и основные их геометрические характеристики приведены на рис. 19, 20 и в табл. 9. Листы профнастила должны быть защищены от коррозии лакокрасочным покрытием либо выполненными из лакированной или оцинкованной стали.

Лакированная сталь – это тонкий лист, покрытый с одной или двух сторон пластифицированным поливинилхлоридом или полиэтиленом. Иногда выпускают листы, лакированные поливинилхлоридом с одной стороны и оцинкованные – с другой стороны. Наибольшие размеры листов 1500×4000 мм. Лакированная сталь может поставляться также в виде рулонов. Адгезия пленки к стальному листу не нарушается при процессах формовании, прессовки и штамповки. Лакированные листы стойки к действию кислот и щелочей.

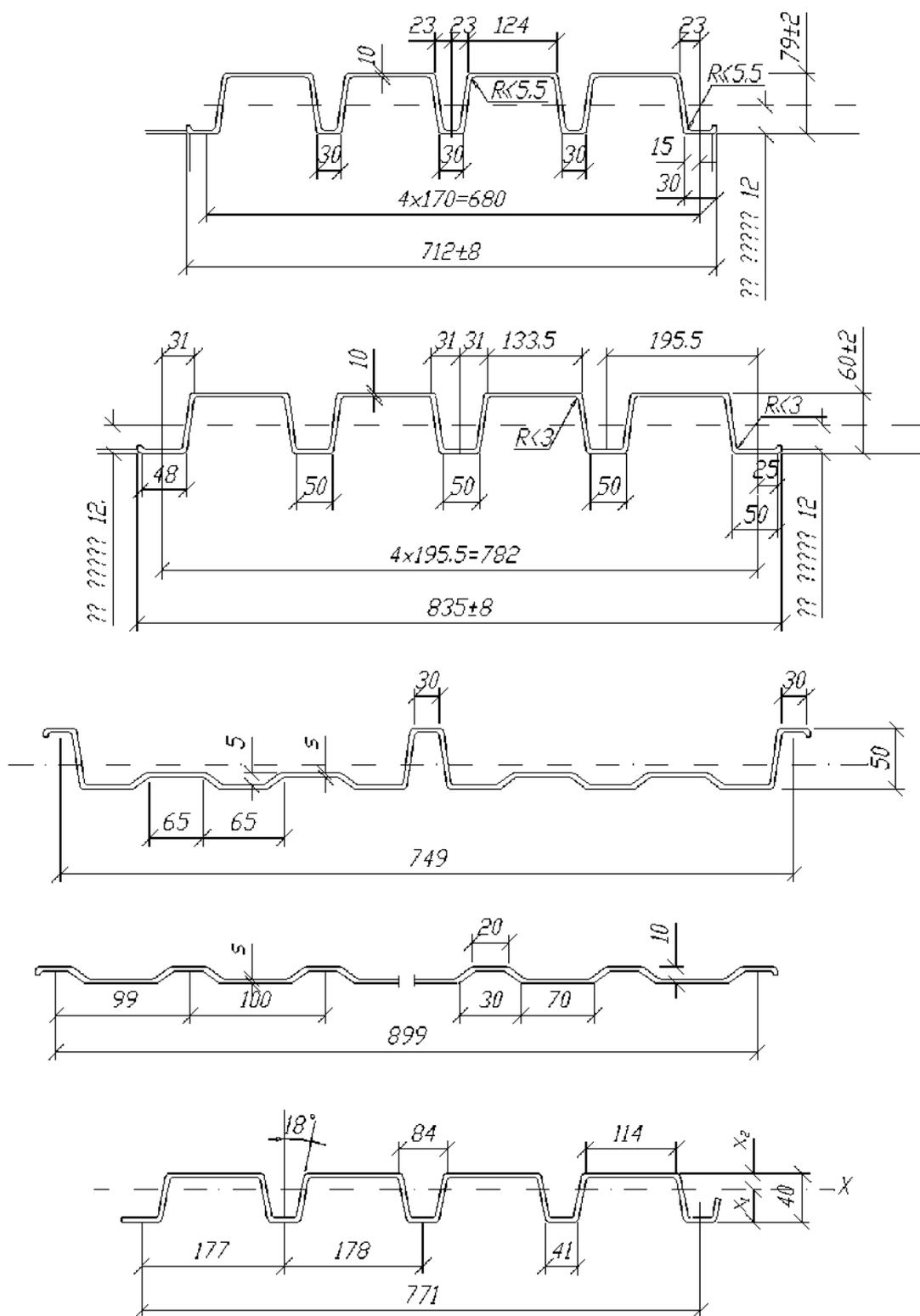
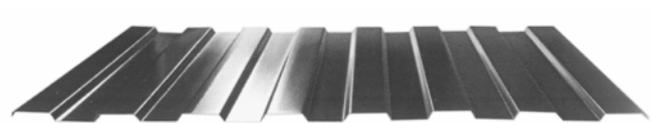


Рис. 19. Профили поперечных сечений стальных листов:
 а – профиль Н79-680-1,0; б – профиль Н60-782-1,0;
 в – профиль С50-749; г – профиль С10-899-08; д – профиль Н40-711-08

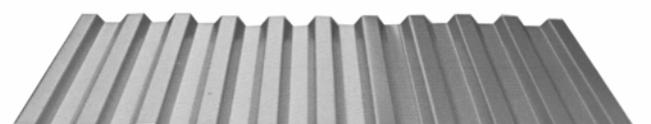
Тип 1
C10-1100(1000)-t
 $t - 0,40; 0,50; 0,55; 0,60; 0,70; 0,80$
мм



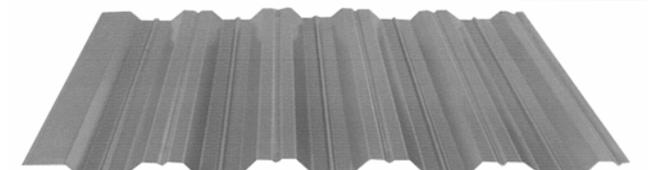
Тип 2
C10-1100-t
 $t - 0,40; 0,50; 0,55; 0,60; 0,70; 0,80$
мм



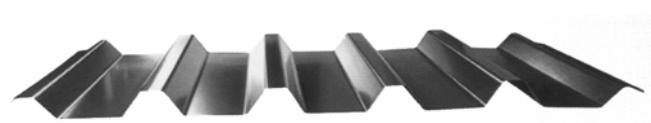
Тип 3
C21-1000-t
 $t - 0,40; 0,50; 0,55; 0,60; 0,70; 0,80$
мм



Тип 4
HC35-1000-t
 $t - 0,40; 0,50; 0,55; 0,60; 0,70; 0,80$
мм



Тип 5
C44-1000-t
 $t - 0,40; 0,50; 0,55; 0,60; 0,70; 0,80$
мм



Тип 6
H57-750-t
 $t - 0,60; 0,70; 0,80$ мм



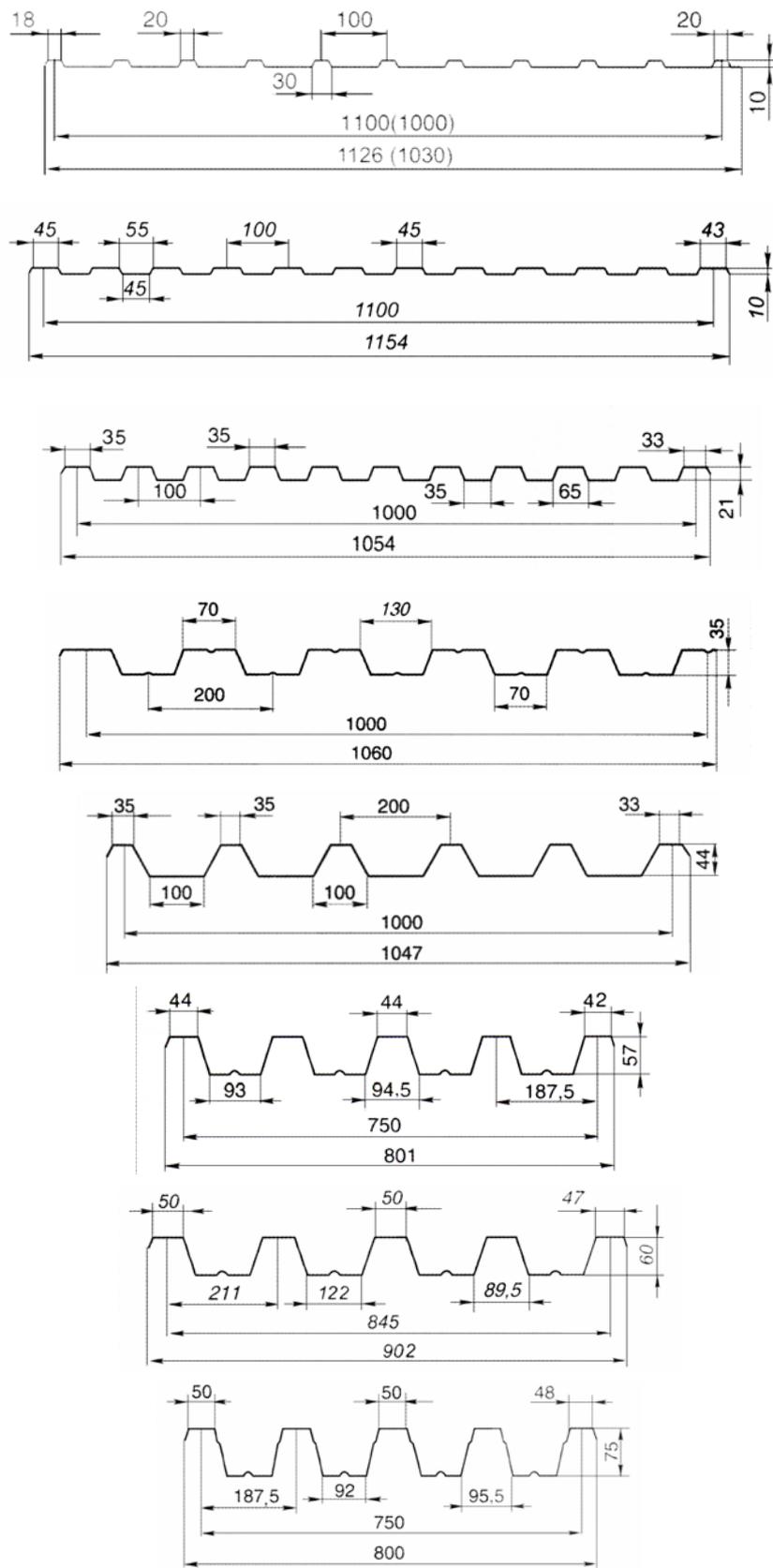
Тип 7
H60-845-t
 $t - 0,70; 0,80; 0,90$ мм



Тип 8
H75-750-t
 $t - 0,70; 0,80; 0,90$ мм



Рис. 20. Профильные
Условные обозначения марок
X – тип профлиста: С – стеновой,
XX – высота гофра; XXX – монтажная



стальные листы
 профлиста: X-XX-XXX-t
 Н – кровельный, СС – стеновой симметричный;
 ширина; t – толщина металла

Таблица 8

Масса и момент инерции профилированного листа

Тип профилированного листа	Толщина металла, мм	НТД	Масса 1 пог. м, кг	Масса 1 м ² (габ.), кг	Момент инерции J_x , см ⁴
С10-1000	0,50	ТУ 1122-025-00110473-97	4,77	4,63	-
	0,55	ТУ 1122-025-00110473-97	5,21	5,05	0,78
	0,60	ГОСТ 24045-94	5,60	5,51	0,80
	0,70	ГОСТ 24045-94	6,50	6,36	0,98
	0,80	ТУ 1122-025-00110473-97	7,40	7,15	1,27
С10-1100	0,50	ТУ 1122-025-00110473-97	5,42	4,61	-
	0,55	ТУ 1122-025-00110473-97	5,92	5,03	0,78
	0,60	ТУ 1122-025-00110473-97	6,40	5,45	0,80
	0,70	ТУ 1122-025-00110473-97	7,40	6,28	0,98
	0,80	ТУ 1122-025-00110473-97	8,40	7,12	1,27
СС10-1100	0,50	ТУ 1122-025-00110473-97	5,42	4,70	0,91
	0,55	ТУ 1122-025-00110473-97	5,92	5,13	1,00
	0,60	ТУ 1122-025-00110473-97	6,40	5,55	1,09
	0,70	ТУ 1122-025-00110473-97	7,40	6,40	1,27
	0,80	ТУ 1122-025-00110473-97	8,40	7,25	1,45
С21-1000	0,50	ТУ 1122-025-00110473-97	5,42	5,15	-
	0,55	ТУ 1122-025-00110473-97	5,92	5,62	4,96
	0,60	ГОСТ 24045-94	6,40	6,09	5,46
	0,70	ГОСТ 24045-94	7,40	7,03	6,28
	0,80	ТУ 1122-025-00110473-97	8,40	7,94	7,16
НС35-1000	0,50	ТУ 1122-025-00110473-97	5,42	5,12	-
	0,55	ТУ 1122-025-00110473-97	5,92	5,58	14,00
	0,60	ГОСТ 24045-94	6,40	6,04	14,92
	0,70	ГОСТ 24045-94	7,40	6,97	17,36
	0,80	ГОСТ 24045-94	8,40	7,89	19,89
С44-1000	0,50	ТУ 1122-025-00110473-97	5,42	5,18	-
	0,55	ТУ 1122-025-00110473-97	5,92	5,65	16,10
	0,60	ТУ 1122-025-00110473-97	6,40	6,12	17,50
	0,70	ГОСТ 24045-94	7,40	7,05	20,70
	0,80	ТУ 1122-025-00110473-97	8,40	7,99	23,50
Н57-750	0,50	ТУ 1122-025-00110473-97	4,77	5,96	-
	0,55	ТУ 1122-025-00110473-97	5,21	6,50	-
	0,60	ГОСТ 24045-94	5,60	7,04	46,20
	0,70	ГОСТ 24045-94	6,50	8,11	53,80
	0,80	ГОСТ 24045-94	7,40	9,19	61,20
Н60-845	0,50	ТУ 1122-025-00110473-97	5,42	6,01	-
	0,55	ТУ 1122-025-00110473-97	5,92	6,56	-
	0,60	ТУ 1122-025-00110473-97	6,40	7,10	-
	0,70	ГОСТ 24045-94	7,40	8,19	59,10
	0,80	ГОСТ 24045-94	8,40	9,28	69,90
	0,90	ГОСТ 24045-94	9,30	10,36	78,70
Н75-750	0,50	ТУ 1122-025-00110473-97	5,42	6,78	-
	0,55	ТУ 1122-025-00110473-97	5,92	7,39	-
	0,60	ТУ 1122-025-00110473-97	6,40	8,01	-
	0,70	ГОСТ 24045-94	7,40	9,23	104,50
	0,80	ГОСТ 24045-94	8,40	10,46	114,90
	0,90	ГОСТ 24045-94	9,30	11,69	129,60

Таблица 9

Технические характеристики профилированных стальных листов

Обозначение профилей размера	Площадь сечения A , см ²	Масса одного погонного метра профиля, кг	Справочные величины на профиль				Справочные величины на 1 м ширины					
			Момент инерции I , см ⁴	W_{X1}		W_{X2}		Момент инерции I , см ⁴	W_{X1}		W_{X2}	
				в пролете	на опоре	в пролете	на опоре		в пролете	на опоре	в пролете	на опоре
H79-680-1,0	12,5	10,4	86,7	18,3	20,9	20,9	37,8	127,5	26,9	30,7	30,7	55,6
H60-782-1,0	12,5	10,4	54,4	16,6	18,4	15,1	31,2	69,6	21,2	23,5	19,3	39,9
H60-782-0,9	11,3	9,4	47,2	14,8	15,7	13,0	27,9	60,4	18,9	20,1	16,6	35,7
H60-782-1,0	10,0	8,5	40,2	13,0	13,3	10,9	24,6	51,4	16,6	17,0	13,9	31,5
C50-749-0,8	8,0	6,8	—	—	—	—	—	27,2	24,4	7,0	5,4	5,2
								14,5				
H40-711-0,8	8,0	6,8	—	—	—	—	—	21,1	10,7	19,2	9,7	8,7
C44-1000-1,0	12,5	10,4	—	—	—	—	—	31,6	13,2	21,5	12,0	13,4
C44-1000-0,8	10,0	8,5	—	—	—	—	—	23,7	10,6	17,4	9,43	9,75

Примечание. Обозначения профилей приняты по ТУ-34-5831-71 (индекс Н – настил, первые две цифры – высота профиля, мм; следующие три цифры – ширина настила, мм; последующие две цифры – толщина листа, мм).

Пример. Обозначения профилей высотой 60 мм, шириной 782 мм и толщиной 1 мм: профиль H60-782-1,0.

Стеклопластики. Из большого разнообразия стеклопластиков наиболее применимыми для ограждающих конструкций панелей являются листовые (плоские или волнистые) стеклопластики марки КАСТ-В (стеклотекстолит) и полиэфирный стеклопластик с хаотическим расположением стекловолокон.

Стеклопластик марки КАСТ-В изготавливается на основе стеклоткани с содержанием 50–55 % стекловолокна. В качестве связующего используются фенолформальдегидные, эпоксидно-фенольные и полиэфирные смолы.

Стеклотекстолиты выпускаются промышленностью в виде листов размером 600...1200×2400 мм, толщиной 0,5–15 мм при объемной массе 1,6–1,85 т/м.

Стеклопластики на полиэфирной основе в качестве наполнителя имеют рубленое стеклянное волокно малощелочного состава. Содержание стекловолокна – 20–25 %. Стеклопластики могут быть светопрозрачными и светонепрозрачными, при этом иметь различную цветовую гамму. При светопрозрачности до 85 % стекловолокна содержится 20–25 %.

Полиэфирный стеклопластик выпускается промышленностью в виде плоских и волнистых листов. Плоские листы имеют длину 1000–6000 мм, ширину не менее 950 мм, толщину 1,5; 2,0; 2,5 мм. Волнистые листы стеклопластика выпускаются со следующими размерами волн:

$\frac{200}{54}$; $\frac{167}{50}$; $\frac{125}{35}$; $\frac{115}{28}$; $\frac{90}{30}$; $\frac{78}{18}$; $\frac{36}{8}$ (числитель – длина волны, знаменатель – ее высота). Основные размеры и геометрические характеристики волнистого полиэфирного стеклопластика приведены в табл. 10. При продольном расположении волн размеры листов принимаются следующими: длина – до 6 м, ширина – от 1000 до 1600 мм.

Листы с поперечной волной предусматриваются шириной не менее 1000 мм и длиной до 40 м.

Расчетные характеристики стеклопластиков приведены в табл.3П приложения.

Стеклопластики выгодно отличаются от многих традиционных материалов (металл, асбестоцемент) способностью длительно работать в условиях агрессивных сред, а также быть светопрозрачными и не магнитными (радиопрозрачными). Однако при их использовании следует учитывать, что они имеют пониженную огнестойкость, жесткость, обладают ползучестью и подвергаются старению.

Т а б л и ц а 10

Геометрические характеристики поперечных сечений волнистых листов стеклопластика (на одну волну)

Размеры волн, мм	Толщина, мм	I , см ⁴	W , см ³	A , см ²	Размеры волн, мм	Толщина, мм	I , см ⁴	W , см ³	A , см ²
200/54	1,5	11,84	4,27	3,7 4,95	115/28	1,5	1,82	1,23	2,08
	2,0	15,8	5,65	6,18		2,0	2,42	1,61	2,78
	2,5	19,73	7,0			2,5	3,03	1,199	3,48
167/50	1,5	8,6	3,34	3,17	90/30	1,5	1,69	1,07	1,74
	2,0	11,44	4,41	4,22		2,0	2,25	1,42	2,32
	2,5	14,32	5,46	5,28		2,5	2,81	1,73	2,90
125/35	1,5	3,13	1,71	2,32	78/18	1,5	0,51	0,52	0,41
	2,0	4,17	2,25	3,10		2,0	0,62	0,68	1,88
	2,5	5,22	2,78	3,88		2,5	0,85	0,83	2,35

Фанера. Для строительных конструкций рекомендуется фанера водостойкая марки ФСФ и бакелизированная марок ФБС и ФБСВ. Фанера марки ФСФ выпускается в виде листов размером 2440×1525, 2440×1220, 2135×1525, 1830×1220, 1525×1525, 1525×1220, 1525×725, 1220×1220, 1220×725 мм.

Листы фанеры имеют толщину от 1,5 до 3 мм с градацией 0,5 мм; от 3 до 10 мм с градацией 1 мм и от 12 до 18 с градацией 3 мм. Фанера марки ФСФ склеивается фенолформальдегидными клеями из нечетного числа шпонов при температуре 90–155°С и давлении 1,6–2,3 МПа.

Фанера бакелизированная в отличие от обычной бывает повышенной прочностью, меньшей горючести и большей биостойкости. Размеры бакелизированной фанеры: 1500×1200×5; 1500×1500×7; 4400×1550×10; 4900×1250×12; 5000×1200×14; 5600×1250×16; 5600×1550×16; 7700×1500×18 мм.

Склеивают бакелизированную фанеру из нечетного числа шпонов при температуре 65–155°С и давлении 4,5 МПа. Время прогрева – до 40 мин. Наружные шпоны при этом предварительно пропитывают фенолформальдегидными смолами.

Основные расчетные характеристики фанеры приведены в табл.4 приложения.

Древесно-стружечные плиты. По конструкции древесно-стружечные плиты разделяются на однослойные, трехслойные и многослойные (слои различаются по размерам древесных частиц и содержанию связующего материала). Практический интерес для панелей представляют плиты однослойные и трехслойные, средней массы ($\gamma=550-650$ кгс/м³), а также тяжелые ($\gamma=750-850$ кгс/м³). С увеличением плотности значи-

тельно возрастают прочностные показатели древесно-стружечных плит, поэтому в напряженных элементах следует применять тяжелые плиты.

Отечественные заводы выпускают древесно-стружечную плиту в основном на карбомидных (мочевиноформальдегидных) клеях, что ухудшает ее показатели по водостойкости и разбуханию. Поэтому такие плиты рекомендуется применять в панелях, предназначенных для эксплуатации в нормальных влажностных условиях, в противном случае должны быть приняты меры по обеспечению водостойкости конструкции. Плиты, получаемые на фенолформальдегидных смолах, более водостойкие и менее токсичные. Расчетные характеристики древесно-стружечных плит, выпускаемых отечественными заводами с использованием импортного оборудования и технологии и предназначенных для применения в несущих конструкциях, приведены в табл.3П приложения (данные получены на основе исследований, проведенных в Пензенском государственном архитектурно-строительном университете). Максимальные размеры листов конструкционных древесно-стружечных плит составляют 2500×5000 мм. При необходимости листы могут поставляться меньших размеров. Для конструкций панелей используют плиту толщиной 10, 13, 16 мм, получаемую методом плоского прессования.

Цементно-стружечные плиты. Цементно-стружечные плиты являются перспективным материалом для деревянного домостроения. Их изготавливают из специальной древесной стружки и портландцемента. В отличие от фибролита и арболита эти плиты прессуют при повышенном давлении, поэтому они имеют большую плотность (1100–1200 кг/м³). Цементно-стружечные плиты обладают высокой прочностью, атмосферостойкостью, не воспламеняются, не подвергаются биологическому разрушению, легко поддаются всем видам механической обработки.

Цементно-стружечные плиты (ЦСП) изготавливают путем прессования отформованной смеси, состоящей из стружки древесины преимущественно хвойных пород, портландцемента, минеральных веществ и воды. Технология изготовления ЦСП включает подготовку древесного сырья, изготовление и сортировку стружек, приготовление цементно-стружечной смеси, формирование ковра, прессование пакетов, тепловую обработку плит, распрессовку и разборку пакетов, твердение плит, сортировку, обрезку и складирование плит.

Физико-механические свойства и качество ЦСП зависят как от количественного и качественного состава компонентов, так и от технологических особенностей выполнения операций и использованного при этом оборудования на всех этапах изготовления плит. В России

построены и действуют более 10 заводов по изготовлению ЦСП, работающих в основном на импортном оборудовании.

В соответствии с ГОСТ 26816-86 «Плиты цементно-стружечные. Технические условия» по физико-механическим свойствам плиты разделяют по сортам на марки ЦСП-1 и ЦСП-2 (табл. 10). Для конструктивного применения ЦСП определены дополнительные показатели, указанные в табл. 11.

Т а б л и ц а 11

Нормативные свойства ЦСП

Свойства	Нормативные показатели для плит	
	ЦСП-1	ЦСП-2
Плотность, кг/м ³	1100–1400	1100–1400
Влажность, %	6–12	6–12
Разбухание по толщине за 24 ч, %	Не более 2	Не более 2
Влагопоглощение за 24 ч, %	Не более 16	Не более 16
Прочность при изгибе (МПа) плит толщиной, мм:		
8 – 16	12	9
18 – 24	10	8
26 – 40	9	7
Прочность при растяжении перпендикулярно пласту плит	0,40	0,35
Размер плит, мм:		
ширина	1200 – 1250	
длина	3200, 3400, 3600	

ЦСП как конструктивный материал используется для панелей стен, покрытий и перекрытий, коробчатых балок, щитов опалубки, щитов пола, настилов под рулонную кровлю. ЦСП могут служить ребрами и обшивками ребристых панелей, кровельных щитов, обшивками трехслойных конструкций.

Для применения в несущих конструкциях к прочностным показателям, приведённым в табл. 11 и 12 должны быть приняты коэффициенты длительной прочности: при растяжении – 0,4; при изгибе – 0,35; при срезе и скалывании – 0,4, а к модулю упругости – 0,4 для растяжения и 0,3 – для смятия и изгиба. Умножая на эти коэффициенты, получают расчетные сопротивления и модуль упругости.

ЦСП можно резать, фрезеровать, сверлить и шлифовать. Для обработки рекомендуется применять из твердого сплава.

Крепление ЦСП к несущим конструкциям выполняют преимущественно с помощью шурупов и специальных гвоздей. Для крепления плит необходимо использовать винтовые оцинкованные гвозди диамет-

ром от 2,5 мм, длина гвоздя назначается из условия, чтобы заземленная часть гвоздя была не менее двух толщин листа ЦСП и не менее 10 диаметров гвоздя. Шаг расстановки гвоздей и шурупов должен быть не менее указанных в табл. 13.

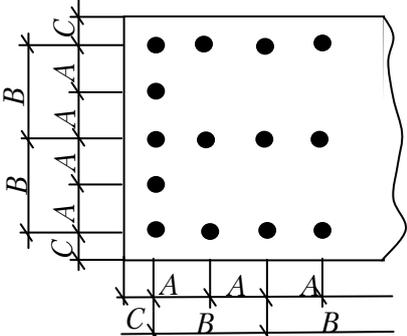
Т а б л и ц а 1 2

Физико-механические свойства конструкционных ЦСП

Свойства	Показатель
Модуль упругости, МПа	Не менее 3500/3000
Твердость, МПа	45–60
Ударная вязкость, Дж/м	Не менее 1800
Удельное сопротивление выдергиванию шурупа из пластин, Н/м	4–7
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С)	1,5
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,26
Класс биостойкости	4
Разбухание по толщине после 20 циклов переменных воздействий, %	Не более 5
Горючесть	Трудногораемые
Морозостойкость (снижение прочности при изгибе после 50 циклов замораживания – оттаивания), %	Не более 10
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	0,027

Т а б л и ц а 1 3

Расстановка гвоздей и шурупов в ЦСП

Схема расстановки	Толщина плит, мм	Размеры, мм		
		А	В	С
	10 - 12	200	400	20
	16	300	600	25
	24	400	800	25
	36	600	1200	40

В соединениях нескольких плит необходимо между ними устраивать компенсационные швы с внешней стороны – 8 мм и с внутренней стороны – 4 мм.

Жесткое (клеевое) соединение обшивок с каркасом из древесины или ЦСП допускается только в конструкциях здания с постоянным температурно-влажностным режимом. Для склеивания используют модифицированные каучуки или фенольно-резорциновые клеи ФРФ-50Л, ФРФ-50Т, а также эпоксидно-каучуковые композиты К-115, К-153.

Стекломагнезитовые листы (СМЛ)

Стекломагнезитовые плиты марки BLANCOBEL (ТУ 5742-001-79255329-2007), выпускаемые ООО «Профиль» (г. Ростов-на-Дону), – это новый листовой строительный материал, благодаря своим качествам является идеальной альтернативой для других древесно-плитных материалов: гипсокартонных и гипсоволокнистых листов, OSB, ЦСП, древесно-стружечных и древесно-волоконных плит, водостойкой фанеры.

СМЛ марки BLANCOBEL получают на основе магнезиального вяжущего (хлорида магния и оксида магния – магнезиального цемента) с добавлением древесной стружки и армирования с обеих сторон стекловолокном или стеклотканью. Обе поверхности листа могут обрабатываться любыми видами шпаклевок, красок, клеев, служить основой для наклеивания обоев, пластика, шпона, ДСП, плитки и т.д.

Основные технико-экономические характеристики листов СМЛ приведены в табл. 14, 15 и 16.

Т а б л и ц а 1 4

Основные характеристики СМЛ

№ п/п	Наименование характеристики	Значение
1.	Номинальные размеры листов, мм: длина, L ширина, B толщина	2440 1220 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20
2.	Масса 1м листа	Не менее $0,85S$ и не более $1,35S$
3.	Предел прочности продольных образцов при изгибе, МПа	4,0–16,0
4.	То же, поперечных образцов	1,2–9,0
5.	Плотность, кг/м	800–1400
6.	Твердость лицевой поверхности, МПа	20
7.	Марки по морозостойкости, %: для $S=3-6$ мм для $S> 6$ мм	F 25; F 35 F 50
8.	Водопоглощение, %: для $S=3-6$ мм для $S> 6$ мм	25–35 35–40
9.	Теплопроводность, Вт/(м·°С): для $S=3-6$ мм для $S> 6$ мм	0,316–0,619 0,304–0,316
10.	Группа по горючести	НГ (Негорючий)

Прочность листов существенно зависит от их толщины и направления действующих усилий по отношению к длине и ширине листа. Минимальные значения предела прочности при изгибе стационарных образцов приведены в табл. 15.

Т а б л и ц а 15

Минимальные значения предела прочности СМЛ

Номинальная толщина листа, мм	Предел прочности образцов при изгибе, МПа (кгс/см ²)	
	продольных	продольных
От 3 до 6 (включительно)	16 (160)	9,0 (90)
Свыше 6 до 10	8 (80)	4,0 (40)
10–16	5,5 (55)	1,7 (17)
16–20	4,0 (40)	1,2 (12)

Некоторые другие характеристики СМЛ, включая цены на листы (сложившиеся в 2008 г.), приведены в табл. 16.

Т а б л и ц а 16

Толщина, мм	Размер листа, мм	Вес листа, кг	Площадь, м ²	Розничная цена, руб.	
				м ²	лист
4	1220×2440	12,5	2,98	136,8	407,66
6	1220×2440	17,5	2,98	172,8	514,94
8	1220×2440	21,5	2,98	194,4	579,31
10	1220×2440	29,9	2,98	230,4	686,59

Благодаря широкому диапазону положительных свойств СМЛ могут применяться для внутренней и наружной облицовки строительных конструкции, в том числе с целью их огнезащиты, устройства межкомнатных перегородок, подвесных потолков, полов, панелей ограждающих конструкций стен, покрытий и перекрытий, а также использоваться в качестве несъёмной опалубки при устройстве стен, возведении стен и перекрытий мансард и устройстве вентилируемых фасадов зданий при их реконструкции.

Плиты OSB – это древесно-плитный материал, получаемый по аналогичной технологии изготовления древесно-стружечных плит. Отличительной особенностью листов OSB является ориентированное расположение удлиненной древесной стружки, используемой для верхних слоев плит. Это позволяет получить плиту с несколько увеличенными прочностными показателями по сравнению с обычной древесно-стружечной плитой такой же плотности.

Плиты OSB выпускают с размерами 1250×2500 мм и плотностью 600–650 кг/м, толщина плит: 10, 12, 15, 18, 22, 25 мм.

Некоторые механические характеристики плит OSB марки KRONOPOL–OSB-3, применяемой при изготовлении ограждающих конструкций, приведены в табл. 17.

Т а б л и ц а 17

Минимальные значения предела прочности OSB-3 при изгибе, растяжении и модуля упругости

Толщины плит, мм	Плотность, кг/м ²	Предел прочности при изгибе перпендикулярно к плоскости плит, МПа		Модуль упругости при изгибе перпендикулярно к плоскости плит, МПа		Предел прочности при растяжении, МПа	Набухание по толщине, %
		28	15	4800	1900		
8–18	640	28	15	4800	1900	0,23	12
18–25	600	26	14	4800	1900	0,12	12

Материал LVL

LVL (Laminated Veneer Lumber) представляет собой клееный брус, изготовленный из шпона хвойных пород с продольным направлением волокон в смежных слоях. Материал для изготовления бруса делается в виде плиты, шириной 1830 мм и длиной до 12 м, которая затем распиливается по размерам бруса. Влажность бруса составляет 5–10%, плотность 400–640 кг/м³.

Большим преимуществом материала LVL широкий выбор размеров бруса. Ширину, толщину и длину бруса можно выбрать произвольно в пределах размеров, обусловленных технологией производства LVL. Ширина клееного бруса – в диапазоне от 66 до 1830 мм (66, 100, 160, 180, 200, 260, 293, 300, 360, 450, 600, 900 мм и др.), толщина бруса от 21 до 75 мм (21, 27, 33, 36, 39, 42, 45, 51, 57, 63, 69, 75 мм), длина до 12 м.

Технология производства LVL сходна с технологией изготовления фанеры и заключается в склеивании нескольких слоев шпона. В отличие от фанеры волокна смежных слоев шпонов располагают параллельно, что повышает её прочность в продольном направлении, кроме того толщина шпона в LVL принимается больше (3,2 мм), чем в обычной фанере.

Брус изготавливается двух типов:

1 тип – все слои шпонов имеют параллельное направление волокон древесины;

2 тип – некоторые смежные слои шпона имеют взаимно перпендикулярное направление волокон древесины.

Основные механические характеристики материала LVL приведены в табл. 18.

LVL может применяться (рис.21) при строительстве зданий любого назначения, в конструкциях несущих опор, плит перекрытия, кровельных панелей, несущих балок перекрытий и покрытий, стропильных ферм, элементов бетонной опалубки и др.

Т а б л и ц а 1 8

Основные характеристики бруса LVL

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателей по типам бруса	
		1 тип	2 тип
1	Предел прочности при скалывании по клеевому слою (при кипячении в течение часа), МПа	Не менее 1,0	Не менее 1,0
2	Предел прочности при статическом изгибе вдоль волокон, МПа	48	48
3	Модуль упругости при статическом изгибе, МПа	10 000	7000
4	Плотность, кг/м ³	400–600	400–600



Рис. 21. Применение LVL в конструкциях покрытия

Материал LVL позволяет использовать практически все способы соединений деревянных конструкций как между собою, так и с другими материалами, а также может подвергаться любой механической обработке.

В Скандинавских странах находят применение конструкции из клееной древесины Kerto, разработанной фирмой «Финнфорест» (Финляндия). Клееная древесина Kerto является абсолютным аналогом материалу LVL. Она широко применяется в строительстве жилых, общественных и сельскохозяйственных зданий, складов, а также при капитальном ремонте и реконструкции зданий и сооружений как в виде самостоятельных несущих конструкций (балки, прогоны, элементы ферм, рам и др.), так и в виде ограждающих конструкций (настилы, панели, щиты).

Основные прочностные характеристики и модули упругости из клееной древесины Kerto, принимаемые в расчетах, приведены в табл. 19.

Габаритные размеры элементов древесины Kerto такие же, как и элементы из материала LVL.

Т а б л и ц а 19

Расчетные характеристики древесины Kerto

№ п/п	Наименование показателя	Значения показателей
1	Прочность на изгиб, МПа: на ребре плашмя	18
		18
2	Прочность на растяжение, МПа: в направлении волокон перпендикулярно волокнам	15,5
		0,35
3	Прочность на сжатие, МПа: в направлении волокон перпендикулярно волокнам	14,5
		13,5
4	Прочность на срез (скалывание), МПа: на ребре плашмя	1,7
		1,0
5	Модуль упругости (при расчете по деформациям)	10000
6	Модуль сдвига, МПа	450
7	При расчете балок шириной более 900 мм показатели умножаются на коэффициент $k=0,885$	

5.2.2. Материалы для срединного слоя панелей

Пенопластмассы (пенопласты). Представляют собой газонаполненные пластмассы, получаемые вспениванием полимерных композиций химическим или механическим способами. В зависимости от вида полимерной смолы различают термопластичные и терморезактивные пенопласты. Наибольшее применение в строительных конструкциях в настоящее время получили терморезактивные пенопласты, отличающиеся от термопластичных повышенной огнестойкостью.

Механические и физические свойства пенопластов определяются их объемной массой, которая для материалов отечественного производства изменяется от 10 до 200 кг/м³. С увеличением объемной массы повышается прочность, снижается водопоглощение, гигроскопичность, воздухо- и паронепроницаемость. Пенопласты с объемной массой более 60 кг/м³ удовлетворяют требованиям, предъявляемым к материалам срединного слоя трехслойных конструкций. Материалы, объемная масса которых меньше 60 кг/м³, не относятся к конструкционным из-за очень низких показателей прочности. Широкое применение в практике строительства получили пенопласты полистирольные, поливинилхлоридные, фенолформальдегидные и др.

Ниже приводится краткая характеристика этих пенопластов.

Пенополистирол различают прессового и беспрессового изготовления.

Пенопласты прессового изготовления имеют марки ПС-1, ПС-4, ПС-18, ПС-254, ПС-БСГ и др. Наибольшее применение находят пенопласты марок ПС-1, ПС-4 с объемной массой, соответственно, 100 и 60 кг/м³.

Пенополистирол беспрессового изготовления марок ПСБ и ПСБ-С представляет собой материал из ячеистых сферических гранул, спекшихся друг с другом. В зависимости от объемной массы беспрессовый пенополистирол делится на марки 20; 25; 30; 40 (ПСБ) и 25; 30; 40 (ПСБ-С).

Пенопласт ПСБ-С не обладает горючестью: после прекращения огня его горение прекращается в течение 5 с и менее. При повышении температуры прочностные показатели ПСБ снижаются. Пенополистирол марок ПС-1 и ПС-4 выпускается в виде плит размером 500×1000–1200 мм, толщиной 40–75 мм (ПС-1), 600–850×600–850 мм толщиной 50–70 мм (ПС-4).

Пенополивинилхлорид выпускают прессового изготовления марок ПВХ-1 и ПВХ-2 (жесткие), ПВХ-Э (эластичные) и беспрессового изготовления (жесткий) ПВ-1. Этот материал менее горюч, чем пенополистирол.

Пенопласты из поливинилхлорида выпускают в виде прямоугольных плит размером 750×750×50; 500×500×50; 500×2000×50; 200×200×50 мм. Объемная масса пенопластов 50–100 кг/м³. Они имеют закрытые поры, поэтому коэффициент звукопоглощения невелик. Пенопласты, ПВХ-1, ПВХ-2 и ПВХ-Э устойчивы к действию воды, масел, органических растворителей, разбавленных щелочей и кислот. Их можно клеить между собой и с другими материалами. Недостатком поливинилхлорида является то, что он оказывает коррозирующее действие на металл.

Пенопласты на основе формальдегидной смолы относятся к разряду терморезистивных. Эти материалы недороги, прочны и огнестойки. Широкое распространение имеют пенопласты марок ФРП-1; ФРП-2 с объемной массой 30–100 кг/м³ (ФРП-1) и 60–150 кг/м³ (ФРП-2).

В процессе вспенивания и затвердения пенопласт ФРП может прочно приклеиваться к ограждающим поверхностям из стеклопластика, древесно-стружечных плит, фанеры и других материалов. Это обстоятельство используют при изготовлении крупногабаритных трехслойных конструкций даже в условиях строительства при нормальной температуре. Исходную композицию в виде гранул или жидкости вводят в полость конструкции и затем вспенивают. Композиция многократно увеличивается в объеме и склеивается со стенками ограждения (обшивками).

Недостатком фенольного пенопласта являются его хрупкость и повышенное водопоглощение.

Пенополиуретан – терморезистивный пенопласт на основе полиуретанов. Наибольшее применение имеют жесткие пенополиуретаны марок ПУ-101, ППУ-3 и др., используемые как заливочные пенопласты, вспениваемые в полости конструкции. Недостаток пенополиуретанов – горючесть. Для ее снижения полиуретаны модифицируют различными добавками или наполняют негорючими компонентами.

К эффективным теплоизоляционным материалам среднего слоя ребристых панелей следует также отнести минеральную вату (URSA), минераловатные плиты на синтетическом связующем, «Эковату» и др.

Минераловатные плиты изготавливают из минеральной ваты на синтетическом связующем. Из отечественных утеплителей наибольшее применение получили минераловатные плиты марок ПМ-мягкие, ПП-полужесткие и ПЖ-жесткие. Средняя плотность этих плит составляет для ПМ – 100 кг/м³, ПП – 150 кг/м³ и ПЖ – 175 кг/м³. Основные их размеры приведены в табл. 19.

Таблица 19

Основные размеры минераловатных плит

Плита	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
ПМ	1000	450, 500, 1000	40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
ПП	500, 1000	450, 500	30, 40, 50, 60, 70, 90, 100
ПЖ	500, 1000	450, 500	30, 40, 50, 60, 70

Для панелей типа «Венталл» или «Сендвич» используют минераловатные плиты на синтетическом связующем марки NOBASIL T производства фирмы «IZOMAT» (Словакия). Плотность плит для производства стеновых панелей – 105–120 кг/м³, а для панелей покрытия – 120–140 кг/м³.

Также могут применяться плиты теплоизоляционные из минеральной ваты «Сендвич БАТТС–С и –К» производства ЗАО «Минеральная вата» совместно с «ROCKWOOL», полужесткие плиты из базальтового волокна с поперечным расположением волокон типа AKL финской фирмы «PAROK» и плиты, ламели конструкционные из минеральной ваты на синтетическом связующем марок CESSO(75) и CELSO(75) «UAB PAROC» (Литва).

Теплофизические и механические показатели приведенных выше материалов приведены в табл. 20.

Таблица 20

Физико-механические показатели минераловатных плит.

Наименование показателя	Ед. изм.	Значения при плотности		
		105	120	140
Плотность	кг/м ³	105	120	140
Прочность на сжатие, не менее	кПа	60	80	105
Прочность при растяжении, не менее	кПа	100	100	100
Прочность на сдвиг при поперечном изгибе, не менее	кПа	50	75	75
Расчетная теплопроводность в сухом состоянии $\lambda_{\text{ср}}^0$	Вт/(м·К)	0,049	0,050	0,051
Влажность, % по массе, не более	%	1,0	1,0	1,0
Паропроницаемость, не менее	Мг/(м·ч·Па)	0,33	0,33	0,32

Приведенные в таблице показатели определены на вырезанных ламелях вертикально ориентированным волокном, теплопроводность определяется при направлении теплового потока вдоль волокон.

При конструктивных расчетах прочностные характеристики, приведенные в табл. 20, необходимо разделить на коэффициент безопасности работы по материалу, равный 2,0.

Утеплитель «Эковата» – ватообразный материал, получаемый путем соответствующей обработки и пропитки бумажных отходов.

Применяется в качестве эффективного утеплителя стен перекрытий, покрытий и других конструкций, нуждающихся в защите от действия повышенных и пониженных температур.

Основные технические характеристики «Эковаты»:

- Теплопроводность – 0,038-0,041 Вт/(м·°С).
- Группа горючести – Г2.
- Воспламеняемость – В1.
- Плотность – 45, 60, 70 кг/м³.

Нанесение на утепляемую конструкцию может производиться сухим и мокрым способами.

При сухом способе утепления «Эковата» засыпается в пазухи, карманы или наносится на горизонтальные или наклонные поверхности утепляемых конструкции. Таким способом могут утепляться горизонтальные перекрытия, наклонные стены мансард, вертикальные стены, перегородки каркасного типа. При этом для утепления горизонтальных поверхностей используется «Эковата» с плотностью 45 кг/м³, а для наклонных и вертикальных поверхностей – с плотностью 60–70 кг/м³.

Стены, наклонные поверхности или любые другие поверхности могут быть утеплены «Эковатой» с плотностью 60 кг/м³ с влажным нанесением на конструкции, при этом «Эковата» надежно приклеивается к поверхностям утепляемых конструкций. Толщина утепляемого слоя обычно применяется 100–200 мм, при сухом нанесении с расходом на 1 м² – 4,5–12 кг, а при мокром нанесении – 50–70 мм с расходом на 1 м² – 3–5 кг.

На основе проведенных научных исследований, накопленного опыта проектирования, изготовления и эксплуатации трехслойных панельных конструкций установлено, что наибольшие перспективы имеет применение самозатухающего пенополистирола беспрессового изготовления (марки ПСБ-СТ), а при требовании повышенной огнестойкости – фенольного пенопласта (марки ФРП). Все другие пенопластмассы, хотя и имеют ряд очень ценных свойств, все же, ввиду низкой огнестойкости, требуют специального обоснования в каждом конкретном случае применения. По огнезащитным свойствам к фенольным пенопластам приближается лишь пенопласт ПХВ-1.

Теплотехнические свойства вспененных пластмасс зависят от их плотности, а именно, с уменьшением плотности уменьшается и коэффициент теплопроводности. Однако при этом необходимо учитывать еще то, что в этом случае уменьшается и прочность. Срединный же

слой в панелях, обеспечивая совместность работы обшивок, должен быть достаточно прочным. Поэтому выбор того или иного пенопласт-массового материала для трехслойных панелей должен производиться по двум параметрам: по наименьшей теплопроводности и по достаточной прочности. Обычно этим двум параметрам отвечают пластмассы с плотностью не менее 40 кг/м³ для стеновых панелей и не менее 60 кг/м³ – для панелей покрытий. Некоторые физические характеристики наиболее часто применяемых пенопластмасс приведены в табл.3П приложения.

В панелях ребристых наибольшее применение получили минераловатные плиты и утеплитель «Эковата».

5.2.3. Клеи для соединения элементов панелей и их характеристики

К наилучшим клеям для соединения элементов обшивок с обрамлением и со срединным слоем можно отнести фенольные, эпоксидные, полиэфирные и каучуковые. Они обладают повышенными механическими характеристиками и более технологичны. Клеи состоят из смолы соответствующего названия или каучуков, модифицирующих добавок, отвердителей и наполнителей. Рецептура клеев и режимов запрессовки, а также вопросы контроля качества склеиваемых конструкций приведены в [2, 9]. Для соединения деталей из алюминиевых сплавов между собой или стальных деталей в клеевых, клеесварных или клеезаклепочных соединениях применяют эпоксидные клеи марок ЭПЦ-1; ЭПЦ-2; К-153. Для соединения алюминиевых сплавов с пенопластами используются клеи 88Н; 88НП; КС-1; К-147.

При склеивании материалов на основе древесины между собой в клеевых, клеевинтовых и клееболтовых соединениях применяют фенолформальдегидные клеи марок СФХ; СФЖ-3016; резорциновый ФР-12, фенольно-резорциновый ФР-50, алкил-резорциновый ФР-100.

В клееных деревянных конструкциях, эксплуатируемых в нормальных температурно-влажностных условиях, допускается применять карбомидные клеи на основе мочевиноформальдегидной смолы марок КФ-5; КФ-Ж; КФ-БЖ и др. Преимуществом этих клеев является способность отвердевать в поле токов высокой частоты, что позволяет довести сроки выдержки склеиваемых изделий в прессе до нескольких минут.

Для склеивания древесины с пенополистиролом, асбестоцементом, слоистыми пластиками применяют эпоксидный клей БОВ-1. Полиэфирный клей ПН-1 применяют для склеивания древесины и стеклопластика, а также асбестоцемента и других материалов. При соединении изделий из асбестоцемента применяют также эпоксидные и фенольные клеи, а из стеклопластика – эпоксидные и полиэфирные ПН-1.

Приклеивание пенопласта к обшивкам в трехслойных панелях может осуществляться клеевыми композициями, если пенопласт используется в виде готовых блоков, а также в условиях непосредственного вспенивания его в полостях панелей, если пенопласт используется в жидком виде. При этом последний способ дает более высокие показатели склеивания. Это можно объяснить отсутствием непроклеев, меньшей толщиной клеевых швов и другими факторами. На основании результатов многочисленных экспериментов и опыта эксплуатации сделаны рекомендации (табл. 21) по применению клеев для различных видов конструкций в зависимости от свойств самих клеев и склеиваемых материалов.

Т а б л и ц а 21

Область применения клеев для склеивания обшивок со срединным слоем в трехслойных конструкциях

Вид клея	Вид технологического процесса	Оптимальная область применения	Материал обшивки	Материал среднего слоя
1	2	3	4	5
Каучуковый (88Н и др.)	Вспенивание пенопласта в полости панели	Стеновые панели с волнистыми или плоскими обшивками	Алюминий, сталь	Полистирольный пенопласт
То же	То же	Стеновые и кровельные панели	То же	Полистирольный или фенольный пенопласт
То же	То же	Стеновые и кровельные панели с ребрами, воспринимающими сдвигающее усилие	Асбестоцемент	Фенольный пенопласт
То же	Склеивание готовых блоков	Стеновые панели, подвесные потолки, перегородки и др.	Алюминий, сталь, стеклопластик	Пенопласт, сотопласт, соты из ДВП и др.
Эпоксидный (ЭПЦ и др.)	То же	Кровельные панели, подвесные потолки и др.	То же	То же
Эпоксидно-каучуковые (ЭПЦ и др.)	То же	Стеновые панели	То же	Пеностекло
Фенольный (СФЖ) Резорциновый (ФР-12)	То же	Кровельные и стеновые панели	Алюминий, сталь, предварительно покрытые БФ, стеклопластик	Пенопласт, сотопласт

Окончание табл. 21

1	2	3	4	5
Полиэфирный (ПН-1)	Склеивание из заранее изготовленных элементов	Светопрозрачные конструкции	Стеклопластик светопрозрачный	Стеклопластик, сотопласт и др.
Полеуретановый	То же	Кровельные и стеновые панели	Сталь	Минераловатные плиты

Расчетные характеристики клеевых соединений с указанием марки клея и склеиваемых материалов приведены в табл.22.

Таблица 22

Расчетные характеристики клеевых соединений, МПа

Марка клея и склеиваемые материалы	Расчетное сопротивление		Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}$
	растяжению R_p	сдвигу $R_{ск}$	
Эпоксидные (алюминий с алюминием) марок:			
ЭПЦ-1	6,5	4,5	34
К-153	8,0	4,0	40
К-139	2,7	1,9	-
К-147	2,8	1,5	-
Эпоксидные (алюминий с ДВП) марки ЭПЦ-1	2,0	1,0	34
Эпоксидные (асбестоцемент с асбестоцементом) марок:			
ЭПЦ-1	0,48	*	0,34
К-153	0,48	*	40
Резорциновый (асбестоцемент с асбестоцементом) марки ДТ-1	0,48	*	52
Резорциновый (асбестоцемент с пенопластами) марок:			
ДТ-1	0,1	0,075	52
ДТ-3	0,1	0,075	63
Полиэфирный (стеклопластик со стеклопластиком) марки ПН-1	3,6	2,0	34
Каучуковые (алюминий с пенопластами) марок: 88-Н, 88-НП, КС-1	0,04	0,04	-
Каучуковые (алюминий с ДВП) марок: 88-Н, 88-НП, КС-1	0,2	0,35	-

Примечание. * – расчетные характеристики определяются прочностью склеиваемых материалов.

Расчетные сопротивления, определяемые прочностью склеиваемых материалов, с указанием вида материалов и клеев приведены в табл.23.

Т а б л и ц а 23

Клеевые соединения, расчетные характеристики которых определяются прочностью склеиваемых материалов

№ п/п	Наименование склеиваемых материалов	Марка клея
1.	Алюминий с пенопластами: ПСБ-С, ПСБ-Ст ПВХ-1, ПС-1, ПС-4 ПСБ-С, ПСБ-Ст, ПСБ ПСБ-Т	К-153 К-147 К-134, КБ-3 с подслоем БФ-2
2.	Алюминий с сотопластом на основе крафт-бумаги	ЭПЦ-1, К-153, К-147, К-134, ДТ-1
3.	Асбестоцемент с пенопластами: ПС-4, ПСБ-Ст, ПСБ-С ФРП-1	ДТ-1, ДТ-3 88Н, 88НП, КС-1
4.	Асбестоцемент с сотами из ДВП и сотопластом на основе крафт-бумаги	ЭПЦ-1, К-153, ДТ-1
5.	Асбестоцемент с пеностеклом	ДТ-3, К-134
6.	Стеклопластик полиэфирный с пенопластами: ПСБ-С, ПСБ-Ст, ПСБ, ПСБ.Т, ПВХ-1, ПС-1, ПС-4	СФЖ, ФР-12 КБ-3
7.	Древесные материалы со стеклопластиком полиэфирным	ПН-1
8.	Древесина с древесиной	ФР-12, ФР-50, ФР-100
9.	Фанера с фанерой и древесиной	ФР-12, ФР-50, ФР-100
9.	Алюминий, сталь с минераловатными плитами	полиуретановые

5.3. Конструирование панелей

В конструктивном отношении панели делятся на два типа: ребристые и со сплошным срединным слоем. Принципиальное различие их заключается в способе обеспечения совместной работы обшивок при изгибе панелей. В ребристых панелях совместность работы обеспечивается ребрами, а в панелях со сплошным слоем – средним слоем. В ребристых панелях пустоты между ребрами могут быть заполнены (полностью или частично) сплошным слоем пенопласта (подобно панелям со сплошным срединным слоем), однако такие панели все же следует называть ребристыми, так как ввиду малой жесткости пенопласта совместная работа обшивок будет обеспечиваться ребрами. Наличие сплошного слоя из пенопласта в таких случаях будет лишь улучшать работу сжатой обшивки на устойчивость и на местный изгиб.

Основные размеры панелей, а также отдельных их элементов принимают, исходя из прямых функциональных назначений, но с обязательным учетом требований унификации, условий изготовления и монтажа. Разбивку ограждения на сборные, монтажные и отправочные элементы осуществляют с учетом снижения отходов материалов при раскрое и выполнения большей части работ в заводских условиях.

Членение ограждения стен и покрытий на монтажные элементы определяется конструктивными требованиями обеспечения жесткости, а также предельной массы и габаритами элементов, допускающими их транспортировку и укрупнительную сборку. Как правило, генеральные размеры панели в плане соответствуют размерам, принятым в железобетонных конструкциях, то есть для стеновых панелей ширина принимается равной 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 м и т.д., а для панелей покрытия – 1,5–3,0 м.

5.3.1. Конструирование ребристых панелей

Ребристые панели по своей конструкции можно подразделить на два типа:

- а) с часто расположенными несущими продольными ребрами (рис. 22, а);
- б) с продольным несущим обрамлением и поперечными ребрами (рис. 22, б).

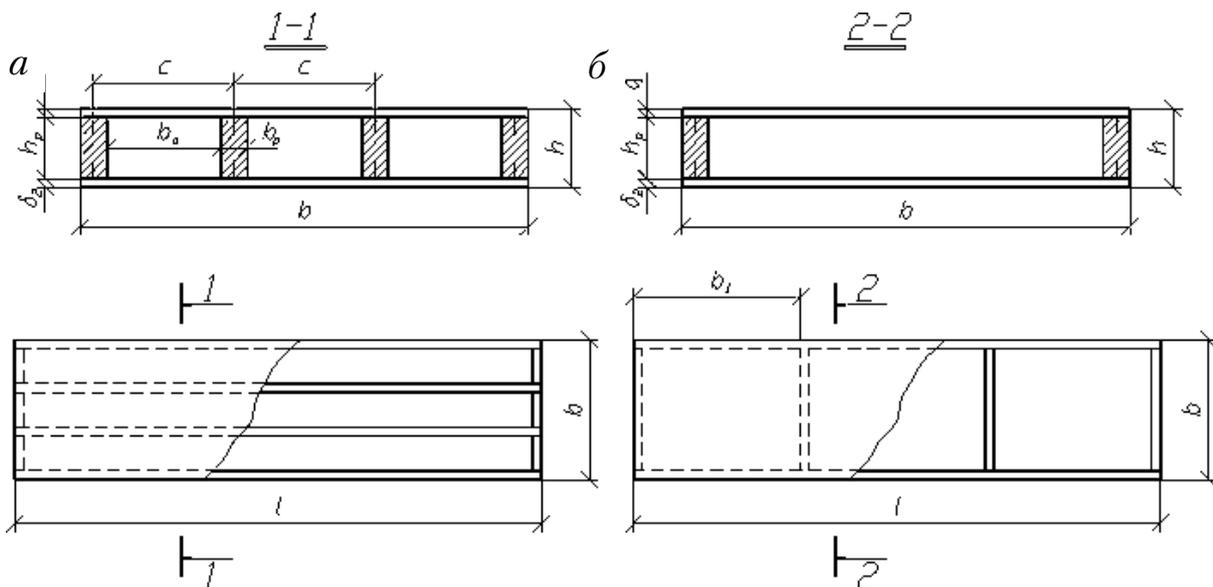


Рис. 22. Схемы ребристых панелей

В панелях типа «а» дополнительно могут быть поставлены поперечные планки (ребра). Основное их назначение – обеспечить проектное положение продольным ребрам в процессе изготовления. В отличие от этого поперечные ребра в панелях типа «б» служат промежуточными опорами для обшивки при работе ее на местный изгиб и местную устойчивость. Как правило, в таких панелях верхняя обшивка выполняется из волнистых листов, располагаемых волнами вдоль панели.

Одним из важных вопросов при конструировании панелей является назначение основных размеров (см. рис. 22).

Высоту h панели желательно назначать из условия полного использования несущей способности панели при достижении ею предельно допустимого прогиба. Однако во многих случаях, особенно когда обшивки выполнены из пластмасс, не удается использовать рациональную работу панели, так как при этом высота ее получается слишком большой. Вследствие этого приходится отступать от расчетной высоты панели и назначать ее в пределах $\left(\frac{1}{25} - \frac{1}{35}\right) \cdot l$.

Назначенная таким образом высота h должна быть уточнена с учетом стандартных размеров сортамента материалов, идущих на изготовление ребер и обшивок, так как $h = h + \delta_1 + \delta_2$. Кроме того, высота панели ограничена теплотехническими требованиями. Количество ребер в коробчатом сечении панели (см. рис. 22, а) и толщина верхней сжатой обшивки определяются, главным образом, из условия работы обшивки на местный изгиб под монтажной нагрузкой: $P = 1,2 \times 1,0 = 1,20$ кН. В этом случае верхняя обшивка рассматривается как балка, защемленная в местах приклеивания ее к ребрам. Сосредоточенный груз $P = 1,20$ кН можно считать распределенным на ширину, равную 1 м. Тогда из расчетной схемы (рис. 23) имеем:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{P \cdot c \cdot 6}{8 \cdot 1 \cdot \delta^2} = \frac{7,2 \cdot c \cdot 10^{-3}}{8 \cdot \delta_1^2} = 0,9 \cdot \frac{c}{\delta_1^2} \cdot 10^{-3} \leq m_{\text{н}} R_{\text{н}}$$

или $0,0009 \cdot c < b_1 m_{\text{н}} R_{\text{н}}$.

Отсюда имеем $c \leq 1111 \cdot \delta_1^2 m_{\text{н}} R_{\text{н}} = 1333 \cdot \delta_1^2 R_{\text{н}}$,

где $R_{\text{н}}$ – расчетное сопротивление материала верхней обшивки изгибу, МПа;

$m_{\text{н}} = 1,2$ – коэффициент условия работы при действии монтажной нагрузки.

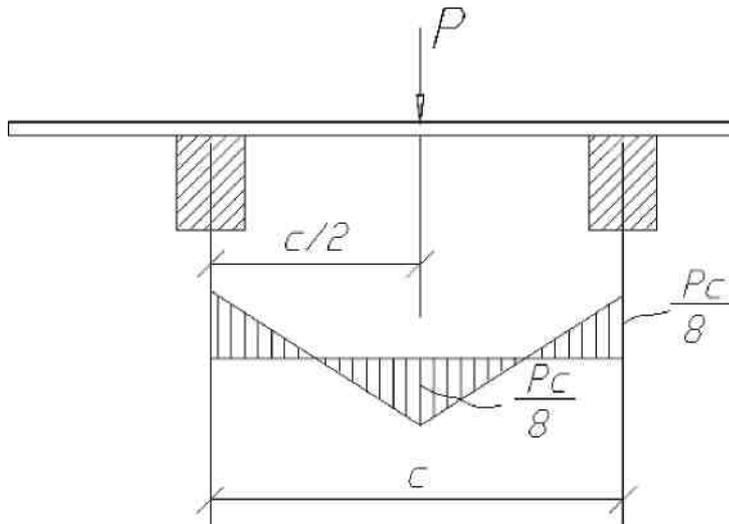


Рис. 23. Расчетная схема обшивки

Отсюда, задаваясь одной величиной, например, толщиной обшивки δ_1 , находим предельный размер другой величины – шага ребер c . Целесообразнее задаваться толщиной обшивки δ_1 в пределах стандартных толщин листов материала обшивки.

Если верхняя обшивка подкреплена пенопластом, надежно приклеенным к ней, то расстояние c назначают без учета выше-приведенного расчета. В этом случае количество продольных несущих ребер определяют, исходя из общей работы панели на изгиб, а верхнюю обшивку дополнительно рассчитывают на действие местных нагрузок согласно п.5.4.2. Расчет верхней обшивки на местный изгиб для панелей, имеющих и продольные, и поперечные ребра, приведен в п.5.4.1.

Толщина нижней обшивки δ_2 назначается обычно меньше толщины верхней δ_1 или ей равной, если они выполнены из одинаковых материалов. Если же обе обшивки выполнены из разных материалов, то при назначении δ_2 необходимо учитывать, что приведенные жесткости обшивок не должны отличаться одна от другой больше, чем в три раза.

Ориентировочную высоту ребер h_p назначают из условия

$$h_p = h - \delta_1 - \delta_2$$

и затем уточняют в зависимости от наличия стандартных размеров сортамента материала ребер.

В случае, если ребра выполнены из досок, необходимо еще учесть уменьшение стандартных размеров h_p и b_p за счет строжки, так как склеивать можно только отстроганные поверхности. После уточнения всех размеров δ_1 , δ_2 и h_p подсчитывают окончательную высоту сечения панели.

Ширину ребер рекомендуется назначать из условия $b_p \geq \frac{h_p}{4}$.

Для панелей (см. рис. 22, б) еще необходимо наметить расстояния между поперечными ребрами. Обычно этот размер уточняется величиной стандартного листа верхней обшивки, так как стыки ее листов располагаются в местах постановки поперечных ребер панели. Кроме того, размеры l_1 , b и δ_1 в этих панелях связаны расчетом листов верхней обшивки на местный изгиб, который производится как для пластинки, опертой по контуру (см. ниже п.5.4). Если в качестве верхней обшивки приняты волнистые листы, расположенные волнами вдоль длины панели, то расчет этих листов на местные нагрузки производится по балочной схеме в направлении, перпендикулярном волнам, то есть с расчетным пролетом l_1 .

5.3.2. Особенности конструирования светопрозрачных панелей

Основные принципы проектирования светопрозрачных панелей такие же, как и ребристых.

Для обшивок панелей применяют светопрозрачные стеклопластики марок ПНМ-2, ПН-1М, ПНМ-8, пропускающие до 90 % дневного света, винипласт и оргстекло в виде плоских или волнистых листов толщиной 1,5-2,5 мм. Размеры панелей не должны превышать размеров листов светопрозрачных материалов, так как стыкование обшивок в пределах панели нежелательно.

Панели могут быть однослойными (холодными) и трехслойными (утепленными) (рис.24а). Средний слой в трехслойных панелях выполняют либо из светопрозрачных волнистых листов стеклопластика, либо в виде ребристой конструкции, которая состоит из одних продольных или же из продольных и поперечных ребер. Для ребер среднего слоя используют продольные элементы из стеклопластика в виде двутавра, швеллера, зета, трубы, а также доски, полосы из стеклопластика, LVL, ДСП, ЦСП или фанеры. Совместность работы тонких обшивок, а также увеличение жесткости и устойчивости их можно обеспечить также путем постановки внутри светопрозрачных панелей стеклопластиковых колец (см. рис. 39).

Кольца нарезают из стеклопластиковых труб диаметром 80–300 мм при толщине стенки в несколько миллиметров. Их приклеивают торцами к обшивкам. Расположение колец может быть различное, но, по возможности, равномерное.

Слоистые светопрозрачные панели герметизируют по контуру с тем, чтобы избежать проникновения влажного воздуха и образования

конденсата внутри них. Кроме этого, для обеспечения отвода конденсата уклон светопропускаемых панелей должен быть не менее 20° для панелей из оргстекла и 10° – для панелей из стеклопластика.

Генеральные размеры светопропускаемых панелей и их элементов назначают так же, как и размеры ребристых светонепропускаемых панелей. При этом можно руководствоваться правилами, изложенными в п.5.3.1.

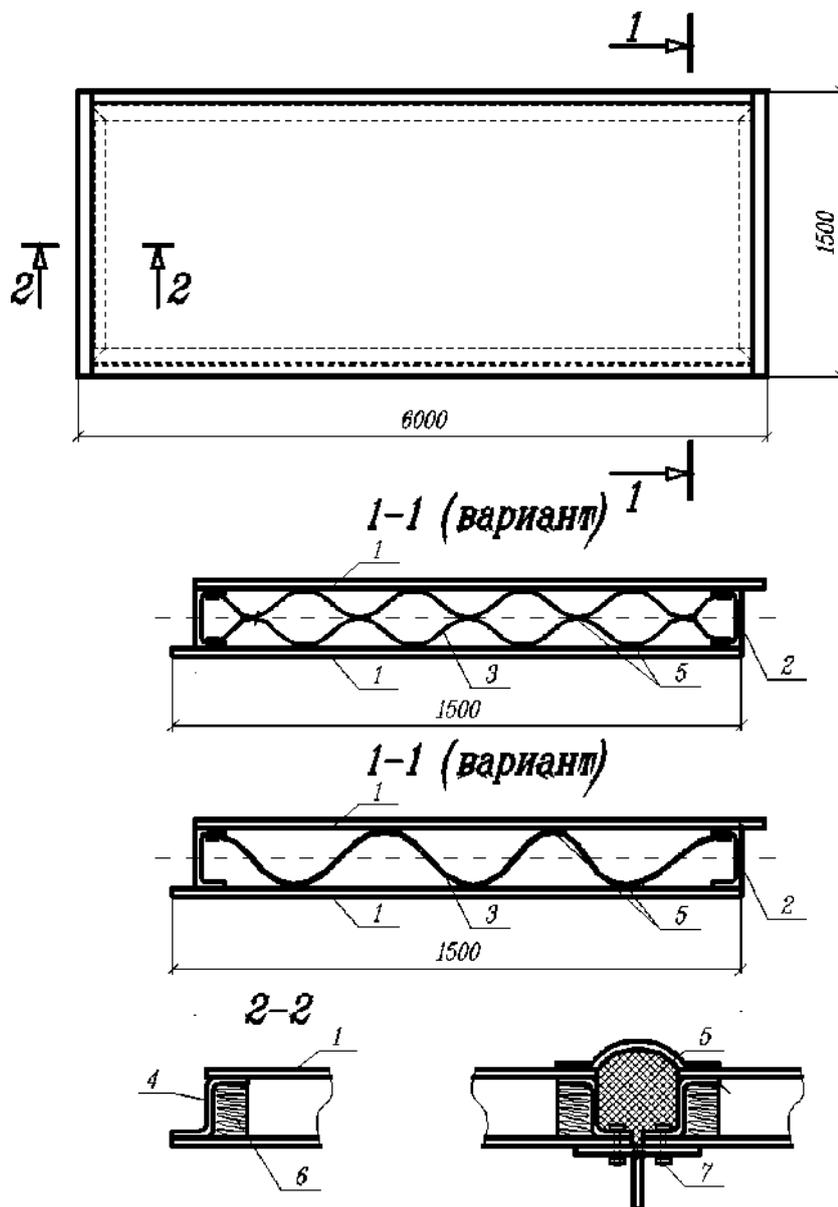


Рис. 24. Светопропускаемая панель со средним слоем из волнистых стеклопластиковых листов:

- 1 – обшивки из плоских прозрачных стеклопластиковых листов;
- 2 – обрамление из стеклопластиковых швеллеров; 3 – волнистые стеклопластиковые листы; 4 – обрамление из z-образного профиля;
- 5 – нащельник; 6 – пенопласт; 7 – болты

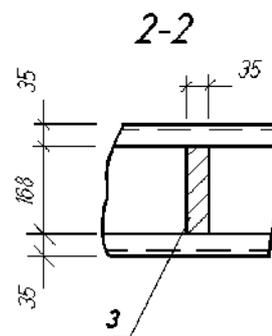
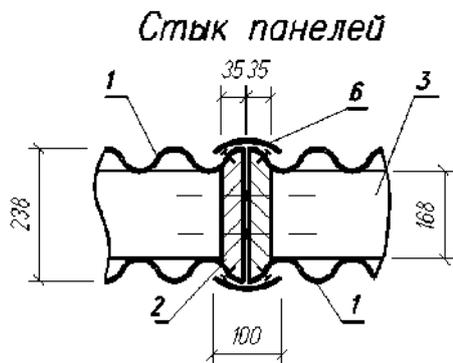
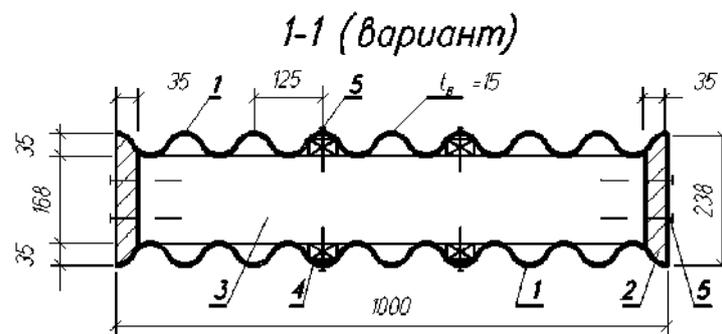
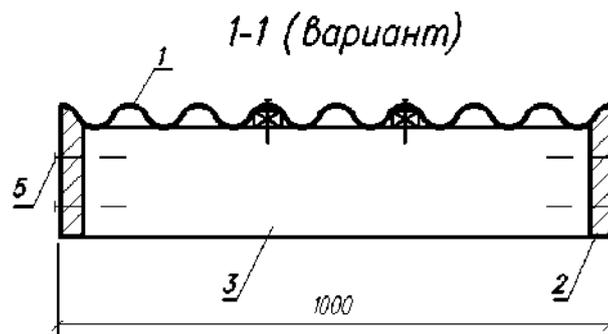
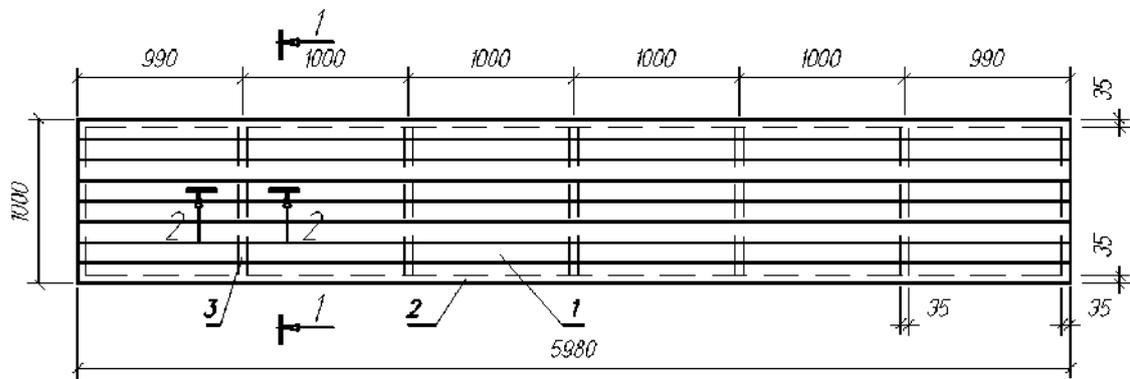


Рис. 24 а. Светопроницаемая ребристая панель:
 1 – обшивки из волнистых стеклопластиковых прозрачных листов;
 2 – обрамление из доски; 3 – поперечные рёбра (доска); 4 – прокладка;
 5 – гвозди или шурупы; 6 – нащельник

5.3.3. Конструирование панелей со сплошным наполнителем

Средний слой панелей со сплошным наполнителем выполняется из пенопласта беспрессового изготовления, вспениваемого в полости панели или вкладываемого в них в виде готовых блоков, а также из пенопластов прессового изготовления. Толщина среднего слоя определяется теплотехническим расчетом и конструктивными требованиями. С целью экономии пенопласта, при толщине среднего слоя более 8 см, его следует выполнять с пустотами, которые могут иметь направление вдоль (рис. 25, б) или поперек (рис. 25, а) панели.

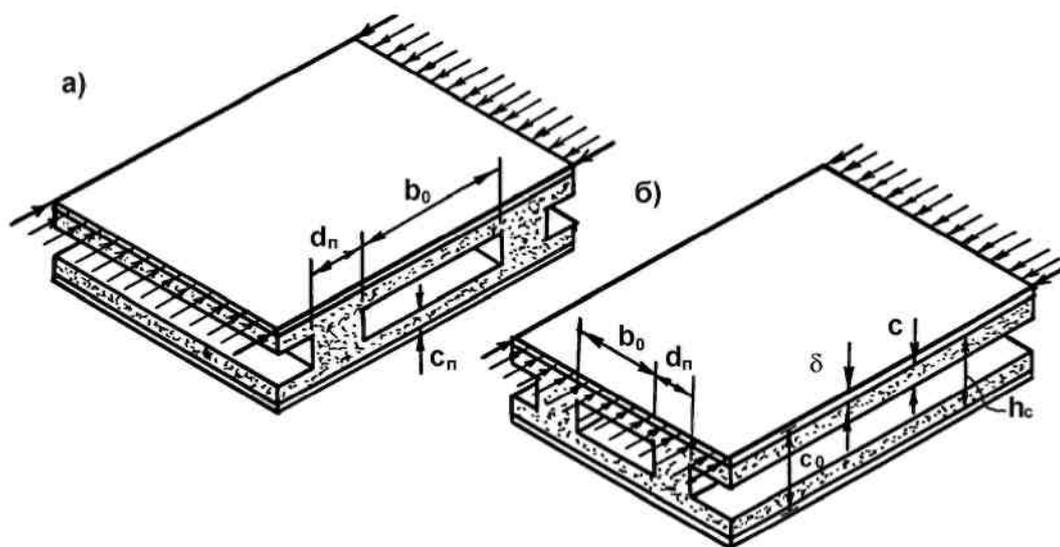


Рис. 25. Схема расположения пустот в трехслойных панелях: а – в поперечном направлении; б – в продольном направлении

Для обеспечения прочности слоя пенопласта, приклеенного к обшивке, устойчивости сжатой обшивки и прочности стенки пенопласта, разделяющей пустоты, необходимо соблюдать следующие конструктивные требования.

Толщина слоя пенопласта c_{II} должна быть не менее 20 мм. Кроме того, при толщине обшивки до 4 мм толщина слоя должна быть не менее $0,17b_0$ – при продольном расположении пустот; $0,25b_0$ – при поперечном расположении пустот, где b_0 – ширина пустот, принимается не более 250 мм.

Толщина стенки пенопласта между пустотами принимается из расчета прочности ее при действии расчетной сосредоточенной монтажной нагрузки $P=1,20$ кН по формуле

$$d \geq \frac{1,2}{2(\delta + c_{II})R_c \cdot m_H},$$

но не менее 40 мм. Здесь R_c – расчетное сопротивление пенопласта сжатию.

Толщину обшивок панелей определяют при расчете сечения на прочность, а для верхней сжатой обшивки, кроме того, расчетом местной потери устойчивости. Толщина обшивок должна превышать наименьшую величину, при которой исключается образование вмятин при изготовлении и монтаже панели. При использовании металлических обшивок следует руководствоваться требованиями минимальной толщины материалов, определяемой их коррозионной стойкостью в эксплуатируемой среде.

В первом приближении толщину обшивок назначают минимальной, руководствуясь при этом только конструктивными требованиями и согласуя ее со стандартными размерами толщин листов тех материалов, из которых проектируется обшивка. Затем, проводя проверочные расчеты панели, толщину можно корректировать. Общая высота панели получается из суммы толщин обшивок и среднего слоя, но в первом приближении ею можно задаваться в пределах $(\frac{1}{25}; \frac{1}{35}) l$.

Некоторые конструкции 3-слойных панелей с обшивками из различных материалов и средним слоем из пенопласта, используемых при строительстве промышленных и гражданских зданий, приведены на рис. 26, 27.

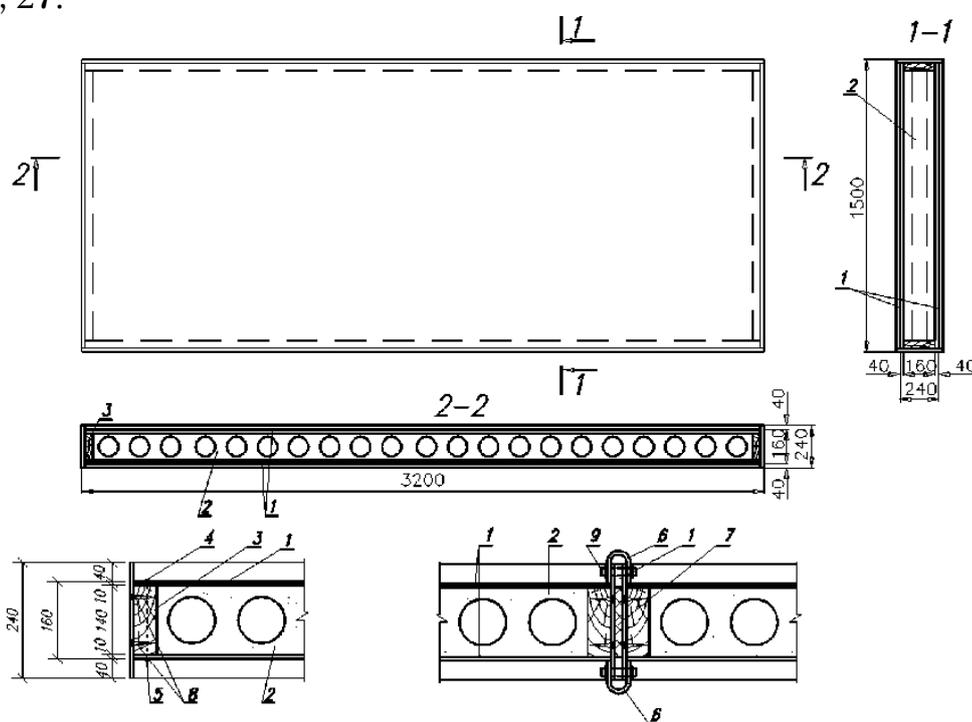


Рис.26. Трёхслойная панель с обшивками из фанеры и средним слоем из пенопласта:
 1 – обшивки из фанеры; 2 – пенопласт; 3 – обрамление из доски;
 4, 5 – шурупы или гвозди; 6 – стыковая накладка; 7 – утеплитель;
 8 – шурупы; 9 – стяжные болты

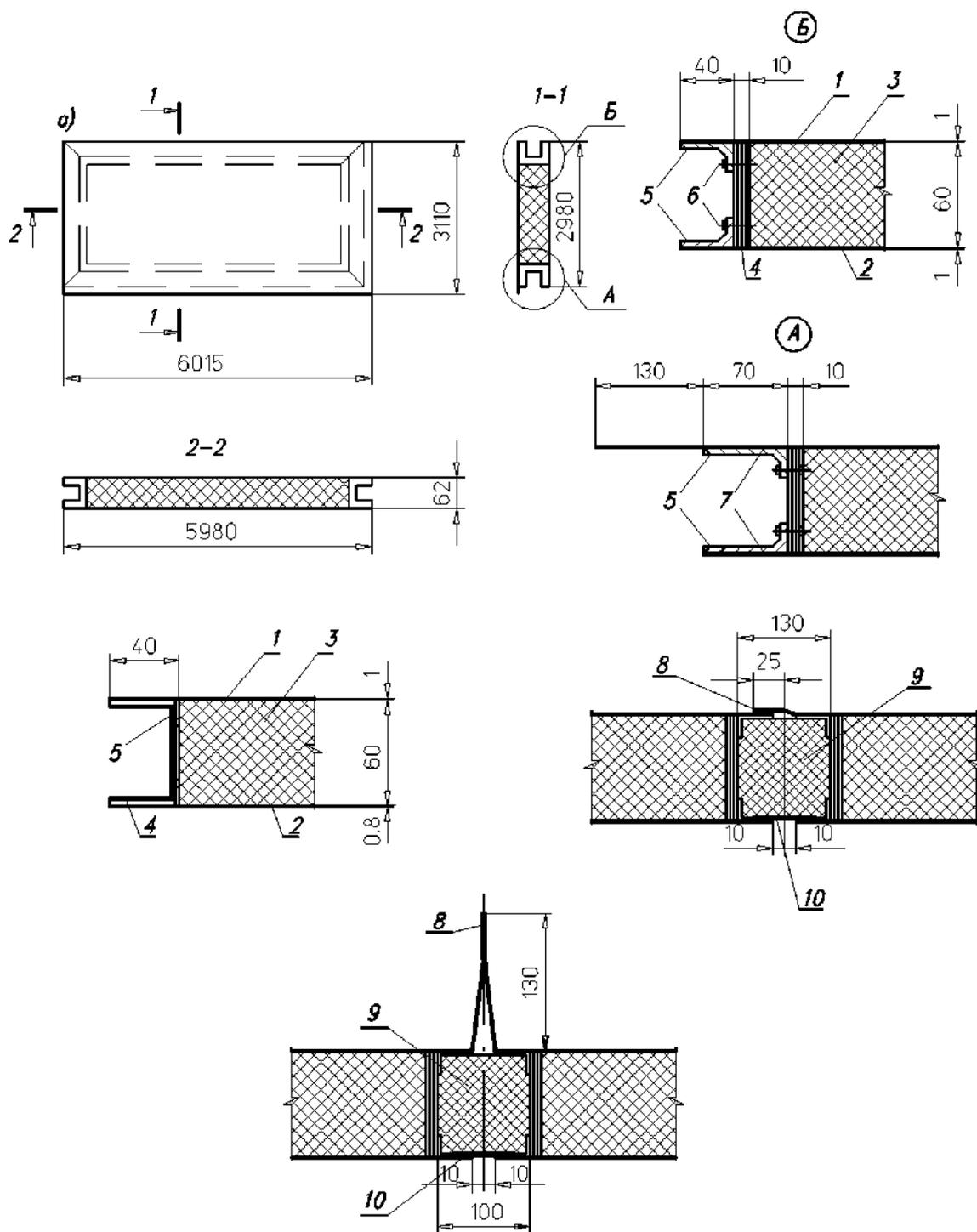


Рис.27. Трёхслойная панель покрытия с обшивками из алюминия и средним слоем из пенопласта:
 1, 2 – обшивки из алюминия; 3 – пенопласт; 4 – обрамление (фанерный швеллер или полоса); 5 – соединительные уголки; 6 – шурупы или винты;
 7 – заклепки; 8 – фальцевое соединение; 9 – утеплитель (пенопласт);
 10 – соединительная накладка

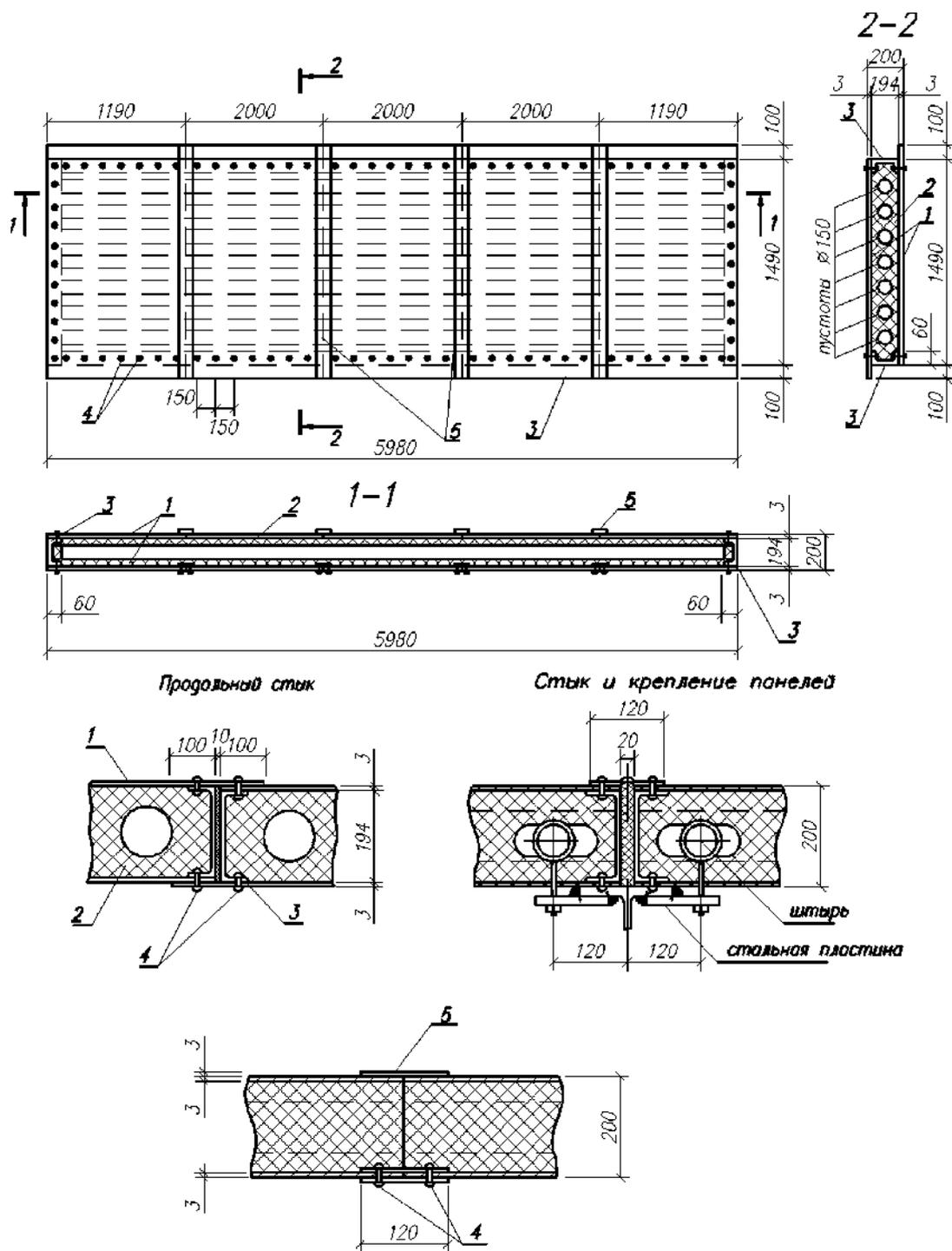


Рис. 27 а. Плита с обшивками из стеклотекстолита для покрытия промышленного здания:

1 – обшивки из стеклопластика; 2 – пенопласт; 3 – обрамление;
4 – заклёпки; 5 – накладки

Панели типа «Венталл» и «Сендвич» со стальными обшивками и средним слоем из минераловатных плит описаны выше в п. 5.1.

5.3.4. Конструктивные решения оформления панелей

В конструктивном отношении панели могут быть выполнены с несущим и ненесущим оформлением. Учитывая, что оформление, как правило, выполняется из прочного материала, необходимо отдавать предпочтение панелям с несущим оформлением, то есть панелям, в которых оформление участвует в общей работе панели на изгиб. Соединение оформления с обшивками в таких случаях должно быть достаточно жестким и надежным. Исключение составляют панели со сплошным слоем, где соединение оформления с обшивками должно быть достаточно гибким. Кроме того, очертание оформления должно быть удобным для прикрепления панелей к несущим конструкциям каркаса здания и для заделки стыков панелей. Некоторые конструктивные решения оформления показаны на рис.28.

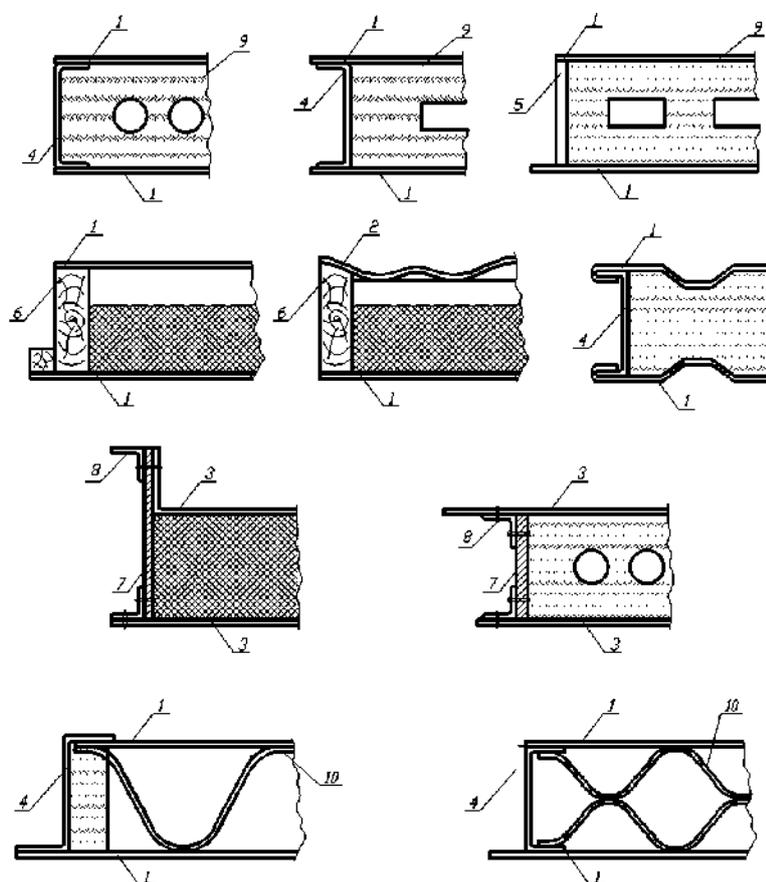


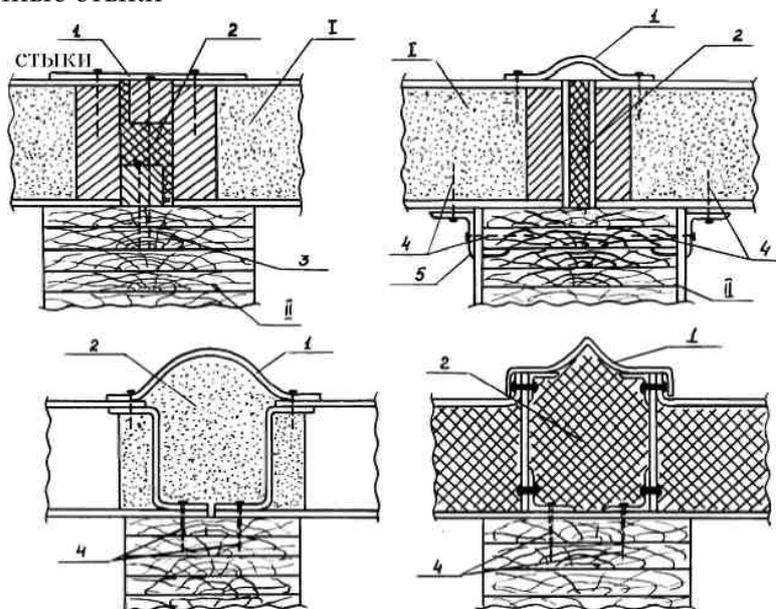
Рис. 28. Конструктивные решения оформлений трехслойных панелей:
1, 2 – обшивка из плоских или волнистых листов фанеры, стеклопластика или асбестоцемента; 3 – обшивка из алюминия;
4 – фанерные, стеклопластиковые или асбестоцементные профили;
5 – водостойкая фанера или стеклопластик; 6 – деревянный брус;
7 – водостойкая фанера; 8 – алюминиевые уголки; 9 – пенопласт;
10 – волнистый стеклопластик

5.3.5. Стыки и крепление панелей к несущим конструкциям

Панели стен и покрытий опираются на несущие конструкции (балки, верхние пояса ферм, прогоны и т.п.). При этом панель должна быть заведена полным сечением за грань опоры не менее чем на 0,5 высоты сечения при пролете панели до 3 м и не менее 1/3 высоты сечения при пролете до 6 м. Во всех случаях опорная часть панели должна быть не менее 60 мм.

Крепление панелей к несущим конструкциям может осуществляться при помощи металлических деталей, соединяемых между собой болтами или сваркой. Если обрамление панелей выполнено из деревянных брусков, то крепление панелей к несущим конструкциям производят гвоздями, которые забивают в выступающие части брусков обрамления. Крепление должно обладать необходимой прочностью, быть удобным при монтаже панелей, давать возможность свободно деформироваться панелям и каркасу здания при температурных воздействиях.

а) Поперечные стыки



б) Продольные стыки

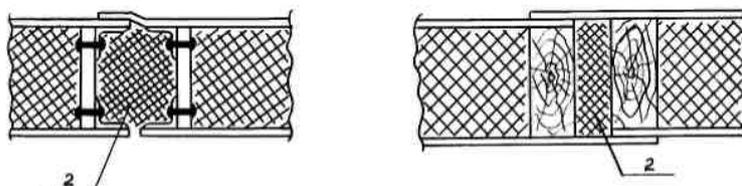


Рис.29. Стыки и крепления панелей к несущим деревянным конструкциям каркаса здания (начало):

I – панель; II – несущая деревянная конструкция; 1 – нащельник из стали, алюминия и стеклопластика; 2 – минеральная вата или пенопласт; 3 – гвозди; 4 – шурупы; 5 – стальной уголок

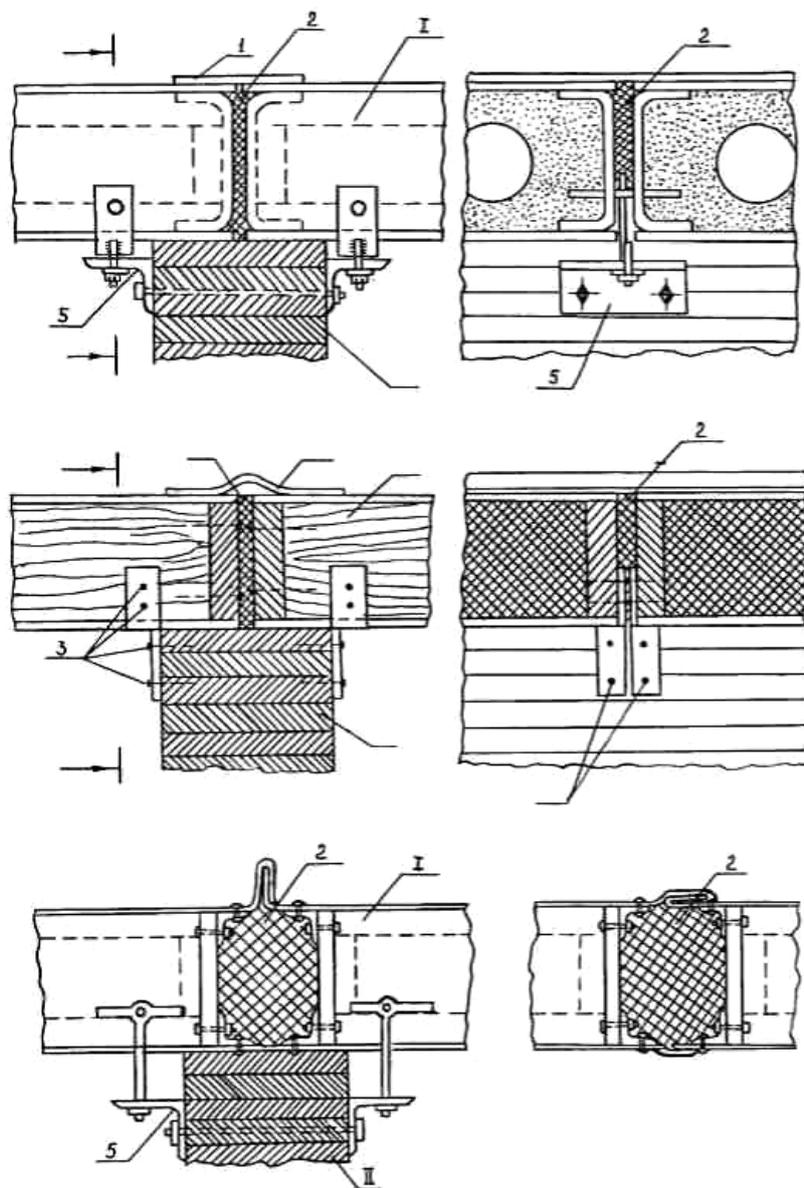


Рис. 29. Стыки и крепления панелей к несущим деревянным конструкциям каркаса здания (окончание)

Вертикальные и горизонтальные стыки панелей должны быть тщательным образом заделаны. Конструкция стыка должна обеспечить воздухо- и водопроницаемость, достаточную теплоизоляцию и свободу линейных температурных деформаций панели.

Стыки между панелями заполняются мастиками, эластичными герметиками или пенопластами.

Некоторые виды стыков панелей и крепление панелей к несущим деревянным конструкциям каркаса здания приведены на рис.29. Стыки панелей со сплошным срединным слоем и крепление их к несущим конструкциям металлического каркаса здания показаны на рис. 30, 31.

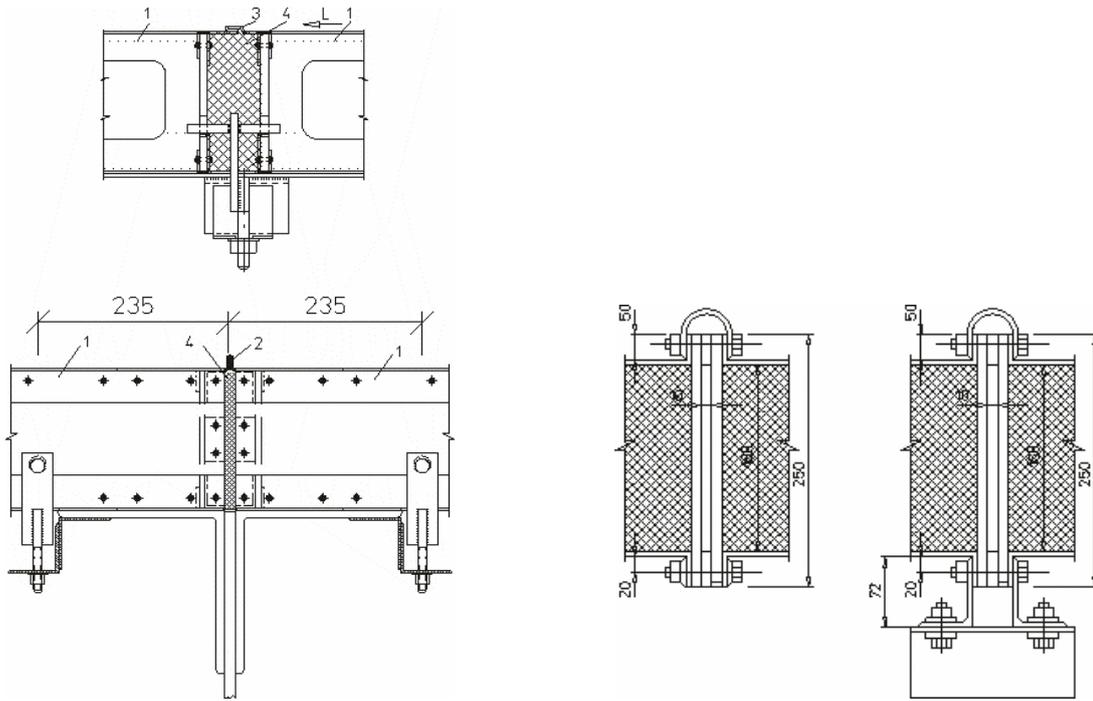


Рис. 30. Стыковые соединения и крепления трехслойных панелей с металлическими обшивками: 1 – стыкуемые панели; 2 – стоячий фальц обшивок; 3 – лежащий фальц обшивок; 4 – уплотняющая теплоизоляционная прокладка

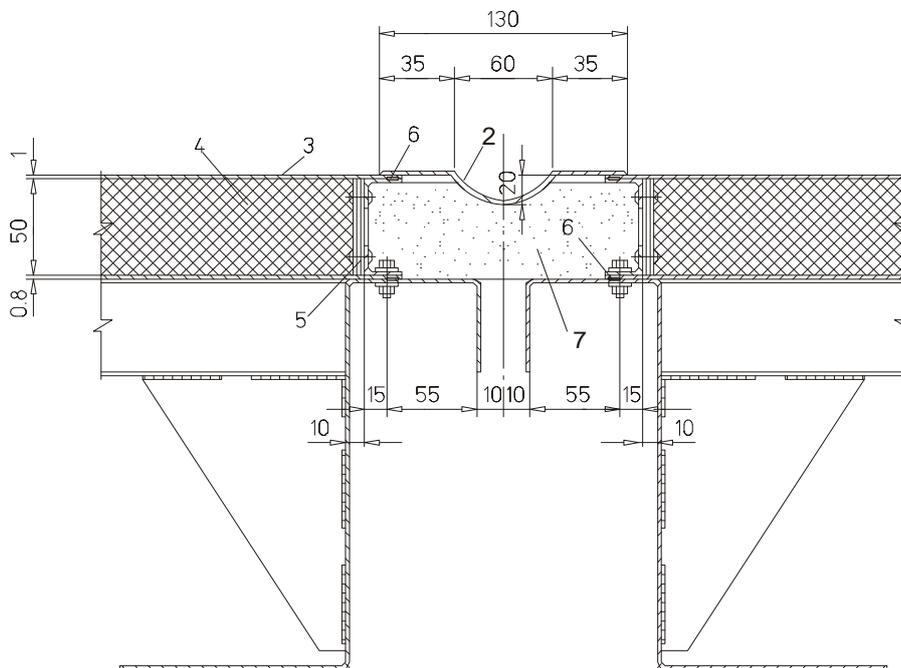


Рис. 31. Крепление трехслойных плит с алюминиевыми обшивками: 1 – плита покрытия; 2 – компенсатор; 3 – обшивки из алюминия; 4 – пенополистирол; 5 – бакелизированная фанера; 6 – клееварное соединение; 7 – утеплитель

5.4. Расчет панелей

Напряженно-деформированное состояние трехслойных панелей вызывается тремя основными факторами: внешними нагрузками, температурными воздействиями и изменением влажности элементов панели. Учитывая одновременное действие всех трех факторов при невыгодном сочетании, условие прочности элементов панели можно записать так:

$$\sigma + \sigma_t + \sigma_w \leq R;$$

$$\tau + \tau_t + \tau_w \leq R_{\text{ср}};$$

$$f + f_t + f_w \leq f_{\text{пр}},$$

где σ , τ и f – соответственно нормальные, касательные (сдвигающие) напряжения и прогибы, подсчитанные от действия внешней нагрузки;

σ_t , τ_t и f_t – те же величины, вызванные изменением температуры;

σ_w , τ_w и f_w – те же величины, вызванные изменением влажности.

Следует заметить, что далеко не во всех случаях требуется подсчет напряжений и прогибов от совместного действия температурных и влажностных изменений. Например, для панелей с металлическими и стеклопластиковыми обшивками преимущественное значение имеют σ_t , τ_t и f_t . Увлажнение не вызывает в этих материалах набухания, и поэтому для них можно принять $\sigma_w = \tau_w = f_w = 0$. Наоборот, для панелей с обшивками из фанеры, древесно-стружечных плит и других материалов с незначительным коэффициентом температурного расширения можно принять, что $\sigma_t = \tau_t = f_t = 0$, но зато необходимо учесть σ_w , τ_w и f_w .

Учитывая особую важность и необходимость знания напряжений и прогибов, вызванных действием внешней нагрузки, ниже приводятся расчетные формулы для их вычисления. Формулы же для подсчета напряжений и прогибов от температурно-влажностных воздействий даны в [2, 3]. Цель настоящего пособия – показать особенности расчета панелей в зависимости от их конструктивных признаков при действии на панели только внешних нагрузок. Приводимые ниже расчеты справедливы для случаев, когда в панели обеспечена совместная работа всех элементов (верхней обшивки, среднего слоя и обшивки), что достигается наличием жестких клеевых швов, соединяющих все элементы панели друг с другом. Кроме того, приводимые формулы справедливы при выполнении условий:

$$\frac{E}{G_{\text{н}}} \leq 10000; \quad 200 > \frac{c}{\delta} > 4; \quad \frac{l}{h} \geq 10$$

(обозначение величин см. ниже).

При существующей классификации для расчета панели делятся на 4 типа, отличающихся между собой некоторыми конструктивными особенностями [1-3]. Однако для расчета на внешние силовые воздействия можно выделить лишь две группы панелей:

- 1) панели с «работающей серединой»;
- 2) панели с «неработающей серединой».

К первой группе можно отнести панели с несущими ребрами, для которых справедливо условие

$$\frac{E_p I_p}{E_{об} I_{об}} \geq 0,8 \frac{c}{l}.$$

В таких панелях и обшивки, и ребра участвуют в восприятии нормальных напряжений при изгибе панели.

Ко второй группе относятся панели со сплошным срединным слоем (из пенопласта) и ребристые панели, у которых

$$\frac{E_p I_p}{E_{об} I_{об}} \leq 0,8 \frac{c}{l}.$$

Нормальные напряжения в таких панелях воспринимаются только обшивками, а касательные напряжения – средним слоем (пенопластом и клеевыми швами, соединяющими его с обшивками, или ребрами, соединяющими обшивки друг с другом). Ниже приводятся особенности расчета и проверочные формулы для панелей ребристых и со сплошным срединным слоем.

5.4.1. Расчет ребристых панелей

При расчете ребристых панелей (рис.32) необходимо учитывать следующие особенности.

1) Если обшивки и ребра (средний слой) панелей выполнены из материалов, имеющих различные механические характеристики, то расчет панелей следует производить по приведенным геометрическим характеристикам:

$$\begin{aligned} A_{пр} &= A_{н.об} + \frac{E_{в.об}}{E_{н.об}} A_{в.об} + \frac{E_p}{E_{н.об}} A_p; \\ I_{пр} &= I_{н.об} + \frac{E_{в.об}}{E_{н.об}} I_{в.об} + \frac{E_p}{E_{н.об}} I_p; \\ S_{пр} &= S_{н.об} + \frac{E_{в.об}}{E_{н.об}} S_{в.об} + \frac{E_p}{E_{н.об}} S_p. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь E_p , $E_{в.об}$, $E_{н.об}$ – соответственно модули упругости материалов ребра, верхней и нижней обшивок, индексы «об» и «р» означают «обшивки» и «ребра».

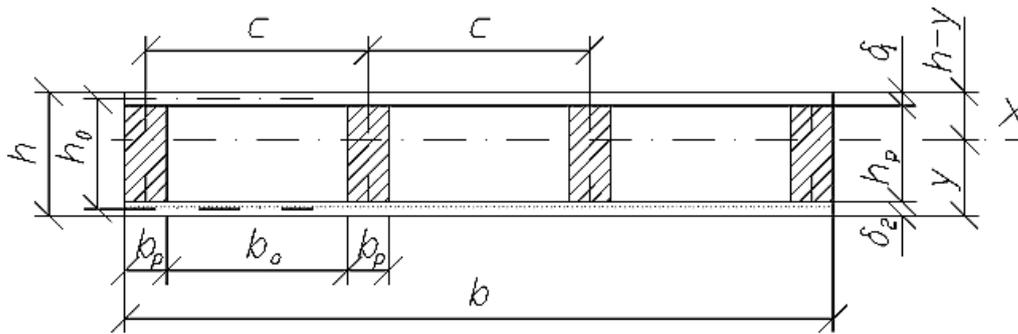


Рис. 32. Поперечное сечение ребристой панели

В формулах (13) геометрические характеристики приведены к материалу нижней обшивки.

Если необходимо перейти от характеристик, приведенных к одному материалу (например, к нижней обшивке), к характеристикам, приведенным к другому материалу (например, к верхней обшивке), то следует их умножить на величину, равную $E_{н.об}/E_{в.об}$, и наоборот.

2) Ребристые панели, для которых справедливо условие

$$\frac{E_p I_p}{E_{об} I_{об}} < 0,8 \frac{c}{l},$$

рассчитываются без учета работы продольных ребер, то есть в формулах (13) третье слагаемое не учитывается. В таких панелях нормальные напряжения изгиба воспринимаются только обшивками, совместность работы которых обеспечивается ребрами, то есть касательные напряжения воспринимаются ребрами и клеевыми швами, соединяющими их с обшивками.

3) При расчете прочности и прогибов ребристых панелей необходимо учитывать возможную концентрацию нормальных напряжений в тонкой обшивке вблизи ребер. Учет неравномерности распределения нормальных напряжений в обшивке осуществляется путем введения в расчетные формулы приведенной ширины $b_{пр}$ обшивки вместо действительной ширины b . Приведенная ширина обшивки определяется по формуле

$$b_{пр} = \sum b_p + k \sum b_0, \quad (14)$$

где b_p – ширина продольных несущих ребер;

b_0 – расстояние между ребрами в свету;

k – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нормальных напряжений по ширине обшивки, принимается по графику (рис.33).

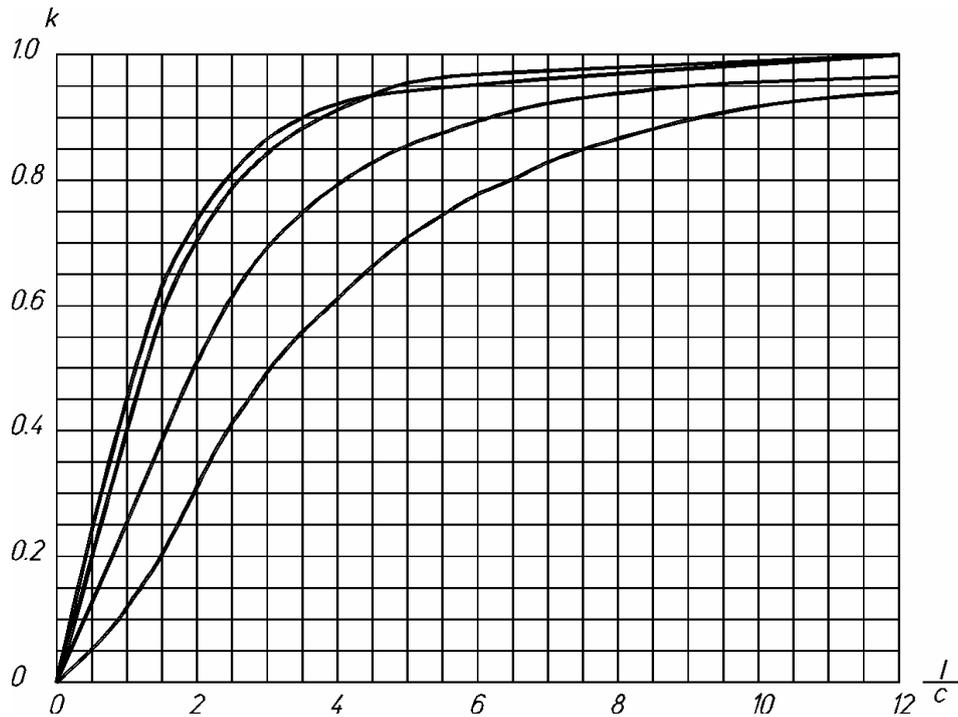


Рис. 33. График для определения коэффициентов k :
 1 – алюминий, асбестоцемент; 2 – стеклопластик; 3 – фанера;
 4 – древесно-стружечная плита

В панелях с несущим обрамлением, не имеющим дополнительных несущих продольных ребер, приведенную ширину обшивки можно подсчитать как

$$b_{\text{пр}} = kb. \quad (15)$$

4) В панелях с несимметричным относительно горизонтальной оси сечением необходимо найти, прежде всего, положение нейтральной линии. Она проходит через центр тяжести приведенного сечения, расстояние до которого от произвольно выбранной оси x_1 можно определить по формуле

$$y = \frac{S_{\text{пр}x_1}}{A_{\text{пр}}}, \quad (16)$$

где $S_{\text{пр}x_1}$ – приведенный статический момент всего сечения относительно произвольно выбранной оси x_1 , подсчитывается с учетом особенностей п.1;

$A_{\text{пр}}$ – приведенная площадь сечения, подсчитывается с учетом особенностей пп.1 и 3.

При расчете панелей следует придерживаться последовательности, изложенной ниже.

1. Выбор конструкции и назначение основных размеров панели.
 Для решения этих вопросов можно руководствоваться рекомендациями, изложенными в п.5.3.1.

2. Определение геометрических характеристик.

На этом этапе подсчитывают основные геометрические характеристики поперечного сечения панели:

$A_{\text{пр}}$ – приведенную площадь;

$I_{\text{пр}}$ – приведенный момент инерции;

$W_{\text{пр}} = \frac{I_{\text{пр}}}{h-y}$ – приведенный момент сопротивления верхней обшивки;

$W_{\text{пр}} = \frac{I_{\text{пр}}}{y}$ – то же, нижней обшивки;

$S_{\text{пр}}^{\text{в.об}}$ – приведенный статический момент верхней обшивки;

$S_{\text{пр}}^{\text{п.с}}$ – приведенный статический момент полусечения.

Приведенные геометрические характеристики подсчитываются по формулам (13), но с учетом особенностей, изложенных в пп.2, 3, 4.

Если модули упругости материалов верхней и нижней обшивок различные, а геометрические характеристики, подсчитанные по формулам (13), приведены к материалу нижней обшивки, то при подсчете величины $W_{\text{пр}}^{\text{в.об}}$ необходимо воспользоваться формулой

$$W_{\text{пр}}^{\text{в.об}} = \frac{I_{\text{пр}}}{h-y} \cdot \frac{E_{\text{н.об}}}{E_{\text{в.об}}}, \quad (17)$$

где $J_{\text{пр}}$ – приведенный к материалу нижней обшивки момент инерции всего сечения панели относительно нейтральной линии.

3. Подсчет нагрузок.

Нагрузки от снега и ветра принимаются по таблицам СНиП 2.01.07-85. Нагрузки от собственного веса панелей подсчитываются по принятым размерам элементов панели путем умножения фактического объема элемента на объемную массу. Подсчет нагрузок необходимо производить в табличной форме.

4. Определение расчетных усилий.

Панели стен и покрытий рассчитываются как балочные с количеством опор, соответствующих фактическим точкам опирания панели. В большинстве случаев панель рассчитывают как балку на двух опорах, нагруженную равномерно распределенной нагрузкой по всему пролету, для которой максимальный изгибающий момент

$$M = \frac{ql^2}{8},$$

а максимальная поперечная сила

$$Q = \frac{ql}{2}.$$

5. Проверка несущей способности панели.

а) Проверка прочности сжатой (верхней) обшивки:

$$\sigma_c = \frac{M}{k_1 W_{пр}^{в.об}} \leq m_c R_c, \quad (18)$$

где m_c – коэффициент условия работы сжатой обшивки;

б) проверка прочности растянутой (нижней) обшивки:

$$\sigma_p = \frac{M}{k_1 W_{пр}^{н.об}} \leq m_p R_p, \quad (19)$$

где m_p – коэффициент условия работы растянутой обшивки, учитывающий наличие в ней стыков.

Коэффициент k_1 в формулах (18) и (19) учитывает влияние несущих продольных ребер на распределение нормальных напряжений в обшивках панелей. При $c/l < 0,05$ $k=1$, а при $c/l > 0,05$

$$k_1 = \nu_1 + 0,24\eta \cdot \frac{E_p A_p^{кр}}{E_{об}^{кр} \delta b}, \quad (20)$$

где ν_1 – коэффициент, определяемый по графику рис.34;

$A_p^{пр}$ – площадь ребра, принимаемая не более $0,2h_p^2$;

η – количество ребер, вычисляемое по формуле

$$\eta = 1 + \frac{n-2}{2} \cdot \frac{A_p^{ср}}{A_p^{кр}};$$

$E_{об}^{пр} = \frac{E_{об}}{1-\mu^2}$ – приведенный модуль упругости материала обшивки (при различных обшивках принимается меньшее из значений $E_{в.о}$ и $E_{н.о}$);

в) проверка устойчивости сжатой обшивки:

$$\sigma = \frac{M}{k_1 \cdot W_{пр}^{в.об}} \leq \varphi R_c, \quad (21)$$

где φ – коэффициент продольного изгиба для сжатой обшивки.

Если сжатая обшивка выполнена из фанеры, то значение коэффициента можно подсчитывать по формулам:

$$\varphi = \frac{1250}{\left(\frac{c}{\delta_1}\right)^2} \quad \text{при } \frac{c}{\delta_1} \geq 50;$$

$$\varphi = 1 - \frac{\left(\frac{c}{\delta_1}\right)^2}{5000} \quad \text{при } \frac{c}{\delta_1} < 50.$$

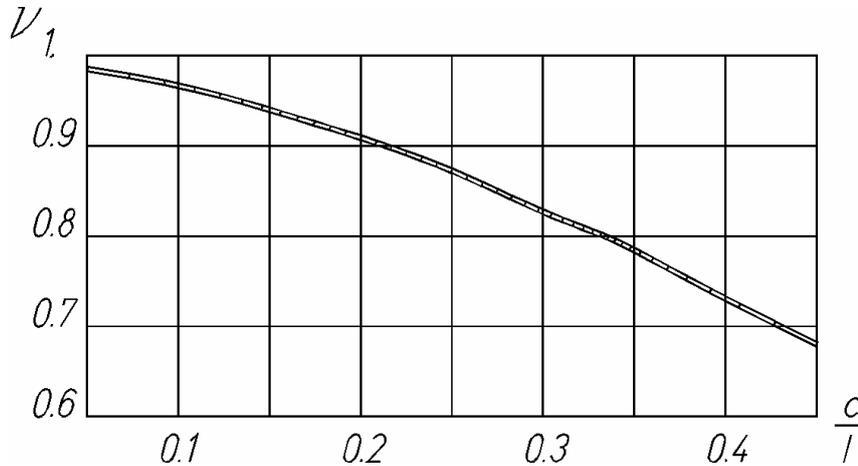


Рис. 34. График для определения коэффициента ν_1

Для ребристых панелей с обшивками из пластмасс устойчивость сжатой обшивки можно проверить по формуле

$$\sigma \leq \sigma_{кр}, \quad (22)$$

где $\sigma_{кр} = k_{кр} E_{в,об}^{пр} \left(\frac{\delta_1}{c}\right)^2$ – критические напряжения для сжатой обшивки, подсчитываемые как для пластинки, опертой по контуру;

$k_{кр}$ – коэффициент, принимаемый по табл.24, в зависимости от отношения $\frac{l_1}{c}$.

Т а б л и ц а 24

Значения коэффициента $k_{кр}$

$l_{1/c}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8 и более
$k_{кр}$	22,2	6,9	4,2	3,45	3,3	3,4	3,65	3,45	3,3

Если условие (22) не выполняется, то прежде, чем принимать конструктивные меры по повышению величины критических напряжений, необходимо произвести проверочный расчет с учетом работы обшивки в закритической стадии, то есть когда в работе будет участвовать только часть обшивки, примыкающая к продольным ребрам.

Для этого расчет производят по формулам (18) и (19), но тогда геометрические характеристики сечения панели вычисляют с подста-

новкой для сжатой обшивки приведенной ширины, равной $b_{пр} = \varphi_{ред} b$, где $\varphi_{ред} = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma}$ – редуцированный коэффициент. В этом случае при выполнении условий (18) и (19) проверка устойчивости сжатой обшивки не требуется;

г) проверка прочности ребер панелей:

$$\sigma_{p.c} = \frac{E_p}{E_{в.об}^{пр}} \cdot \frac{h - y - \delta_1}{h - y} \cdot \sigma_c \leq R_c; \quad (23)$$

$$\sigma_{p.p} = \frac{E_p}{E_{н.об}^{пр}} \cdot \frac{y - \delta_2}{y} \cdot \sigma_p \leq R_p,$$

где σ_c и σ_p – соответственно сжимающие (в верхней обшивке) и растягивающие (в нижней обшивке) напряжения, определенные по формулам (18) и (19);

д) проверка скалывающих напряжений в ребрах:

$$\tau = \frac{QS_{пр}^{н.с}}{I_{пр} \cdot \sum b_p} \leq R_{ск}; \quad (24)$$

е) проверка скалывающих напряжений в клеевых швах, прикрепляющих обшивку к ребрам:

$$\tau = \frac{QS_{пр}^{об}}{I_{пр} \cdot \sum b_p} \leq R_{ск}^{ш}. \quad (25)$$

6. Проверка прогибов панели.

При действии равномерно распределенной нагрузки прогиб панели, работающей по схеме однопролетной балки, подсчитывают по формуле

$$f = \frac{5}{534} \cdot \frac{ql^4}{D}, \quad (26)$$

где $D = EI_{пр}$ – изгибная жесткость панели. При учете работы сжатой обшивки в закритической стадии $I_{пр}$ подсчитывается с учетом редуцированного коэффициента $\varphi_{ред}$, как показано в подпункте в).

Проверка прогибов производится по формуле

$$\frac{f}{l} \leq \left[\frac{f}{l} \right], \quad (27)$$

где $\left[\frac{f}{l} \right]$ – предельно допустимая величина относительного прогиба панели.

7. Расчет панели на местную нагрузку.

Такой расчет часто является решающим при назначении толщины верхней обшивки и расстояния между ребрами, поэтому его можно производить в начале, когда назначаются основные размеры панелей.

За местную нагрузку принимают силу $P=1,2 \times 1,00=1,20$ кН (учитывая вес монтажника с инструментом), распределенную на площадке 10×10 см². Эта нагрузка считается кратковременной, поэтому полученные напряжения необходимо сравнивать с кратковременным расчетным сопротивлением материала обшивки или же расчетное сопротивление необходимо умножить на коэффициент условия работ $m_H=1,2$ как для монтажной нагрузки.

Расчет верхней обшивки на местную нагрузку в панелях, имеющих только продольные несущие ребра, производится в п.5.3.1. При наличии в панели и продольных, и поперечных ребер верхняя обшивка рассчитывается как пластинка, опертая по контуру.

При $\frac{a}{\delta} \leq 1,52 \sqrt[4]{\frac{E_{\text{пр}}}{p_m}}$ и $a_{\text{см}} < a$ обшивка рассчитывается на изгиб по формуле

$$\sigma_H = \xi_1 \beta_1 p_m \left(\frac{a}{\delta} \right)^2 \leq R_u^{\text{кр}}. \quad (28)$$

При $\frac{a}{\delta} > 1,52 \sqrt[4]{\frac{E_{\text{пр}}}{p_m}}$ и $a_{\text{см}} < a$ обшивка рассчитывается на растяжение по формуле

$$\sigma = \beta_3 u E_{\text{пр}} \left(\frac{\delta}{a} + \xi_2 \beta_2 \cdot u \right) \leq R_p^{\text{кр}}, \quad (29)$$

где ξ_1, ξ_2 – коэффициенты, принимаемые по графику (рис.36);

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – коэффициенты, принимаемые по графику (рис.35);

$$u = \sqrt[3]{\frac{p_m a}{E_{\text{пр}} \delta}};$$

здесь $a_{\text{см}}$ – сторона участка приложения местной нагрузки p_m ($a_{\text{см}}=10$ см).

Если $a_{\text{см}} > a$, то проверку прочности обшивки следует производить по формулам (28) и (29), но без коэффициентов ξ_1 и ξ_2 , то есть $\xi_1 = \xi_2 = 1$.

Если верхняя обшивка подкреплена слоем пенопласта, то расчет прочности ее при действии местных нагрузок производится по формулам (33), (34) и (35) как для панелей со сплошным срединным слоем.

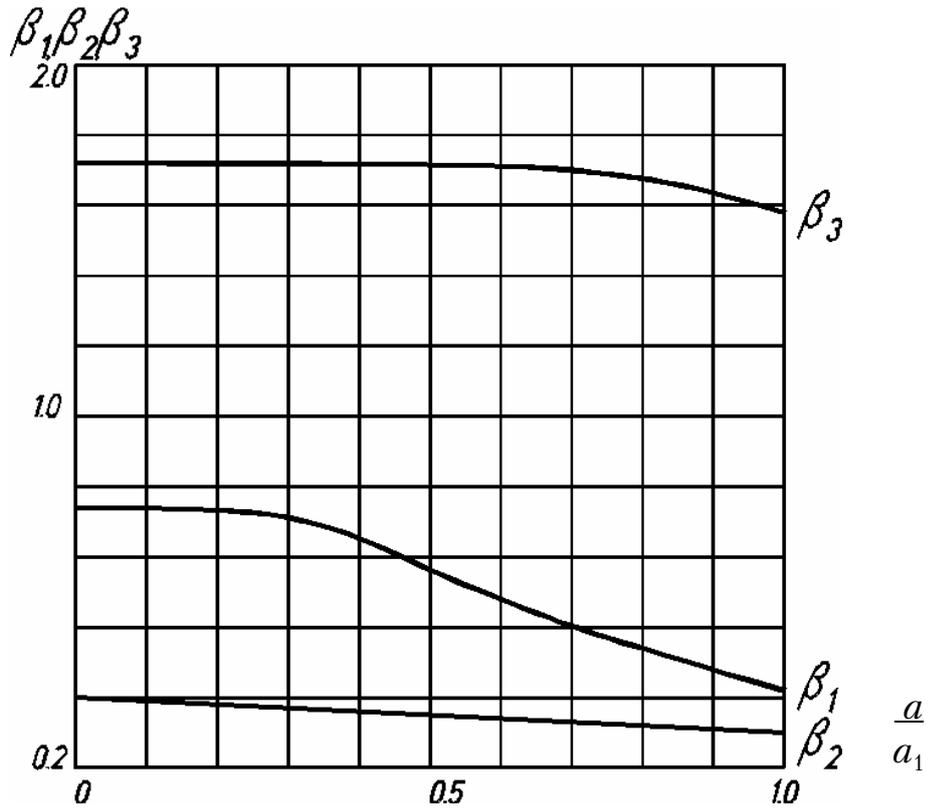


Рис. 35. Графики коэффициентов β_1 , β_2 , β_3

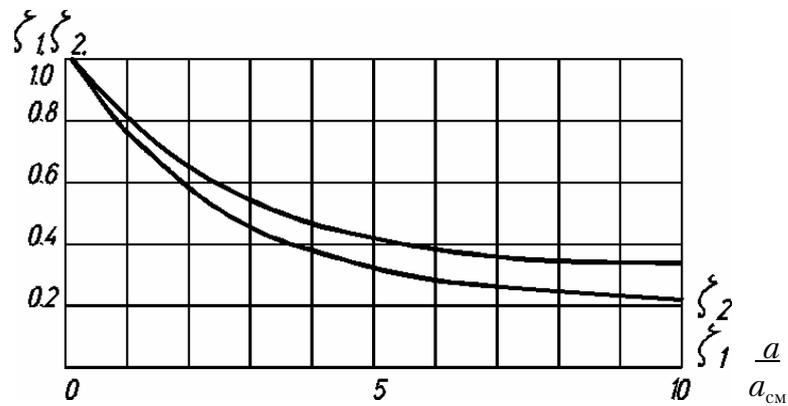


Рис. 36. Графики коэффициентов ξ_1 , ξ_2

5.4.2. Расчет панелей со сплошным заполнителем

Расчет панелей со сплошным заполнителем, а также ребристых панелей, для которых $E_p I_p / E_{об} I_{об} < 0,8 \cdot c/l$, следует производить в такой же последовательности, как и расчет ребристых панелей. Принципиальное отличие будет заключаться в определении геометрических характеристик и в расчете панели на местную нагрузку. Геометрические характеристики поперечного сечения панелей этого типа подсчитывают без учета среднего слоя, то есть только для

обшивок. При одинаковых толщинах обшивок панели момент инерции поперечного сечения определяют по формуле

$$I = \frac{b_{\text{пр}} \delta h_0^2}{2}.$$

Момент сопротивления поперечного сечения

$$W = \frac{b_{\text{пр}} \delta h_0^2}{h} \approx b_{\text{пр}} \delta h_0.$$

Статический момент обшивки

$$S = \frac{1}{2} b_{\text{пр}} \delta h^2,$$

где $b_{\text{пр}}$ – приведенная ширина обшивки, принимается равной ширине b обшивки для панелей со сплошным срединным слоем и подсчитывается по формуле (14) или (15) для ребристых панелей;

h_0 – расстояние между осями обшивок.

Если толщины или материал обшивок различные, то необходимо сначала определить положение нейтральной линии по формуле (16), а затем подсчитать относительно нее необходимые геометрические характеристики.

При известных геометрических характеристиках и расчетных усилиях M и Q проверку прочности панели производят по формулам (13) и (14), принимая в них значение коэффициента $k_1=1$ для панелей со сплошным срединным слоем и для ребристых панелей при $c/l \leq 0,05$. Значение k при $c/l > 0,05$ подсчитывают по формуле (20).

Если толщина сжатой обшивки меньше 4 мм, то прочность ее проверяют с учетом начальной кривизны по формуле

$$\sigma = \frac{M}{k_1 W_{\text{в.об}}^{\text{пр}}} \leq \bar{\sigma}_c, \quad (30)$$

где $\bar{\sigma}_c$ подсчитывают по формулам:

– для металлических обшивок

$$\bar{\sigma}_c = R_c \left[\sqrt{1 + 4 \left(\frac{\omega}{\delta_1} \right)^2} - 2 \frac{\omega}{\delta_1} \right];$$

– для обшивок из прочих материалов

$$\bar{\sigma}_c = \frac{R_c}{1 + 6 \frac{\omega}{\delta_1}}$$

(ω – величина местной начальной погиби обшивки).

Прочность среднего слоя из пенопласта и соединения его с обшивками проверяется по формулам:

$$\sigma_{\text{п}} = \frac{E_{\text{п}}}{E_{\text{поб}}} \cdot \frac{h_0 - \delta}{h_0 + \delta} \cdot \sigma \leq R_c(R_p);$$

$$\sigma_{\text{п}} = \sqrt{\sigma_{\text{п}}^2 + 4\tau_{\text{п}}^2} \leq R_c(R_p); \quad (31)$$

$$\tau_{\text{п}} = \frac{Q}{h_0} \leq R_{\text{ср}},$$

где σ – напряжения в обшивках, подсчитываемые по формуле (30).

Прогиб панелей со сплошным срединным слоем подсчитывают по формуле (26), при этом изгибная жесткость панели подсчитывается, с учетом податливости срединного слоя, по формуле

$$D = \frac{1}{k} E_{\text{об}}^{\text{п}} I, \quad (32)$$

где $k = 1 + 9,6 \frac{E_{\text{об}}^{\text{п}} I}{G h_0 l^2}$.

Обшивка панелей рассчитывается на местную нагрузку $p_m = 0,12$ МПа. Для расчета рекомендуются следующие проверочные формулы:

а) по нормальным напряжениям в обшивке

$$\sigma_u = \Theta_1 \rho_m \left(\frac{r}{\delta} \right)^2 \leq R_u^{\text{кр}}; \quad (33)$$

б) по касательным напряжениям в обшивке

$$\tau = \Theta_2 \rho_m \frac{r}{\delta} \leq R_{\text{ср}}^{\text{кр}}; \quad (34)$$

в) по нормальным напряжениям сжатия в среднем слое

$$\sigma_c = \Theta_3 \rho_m \leq R_c^{\text{кр}}; \quad (35)$$

где $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ – коэффициенты, принимаемые по графикам (рис.37);

r – приведенный радиус локальной площади действия нагрузки p

$$r = 0,565 \sqrt{F};$$

здесь F – площадь участка приложения нагрузки;

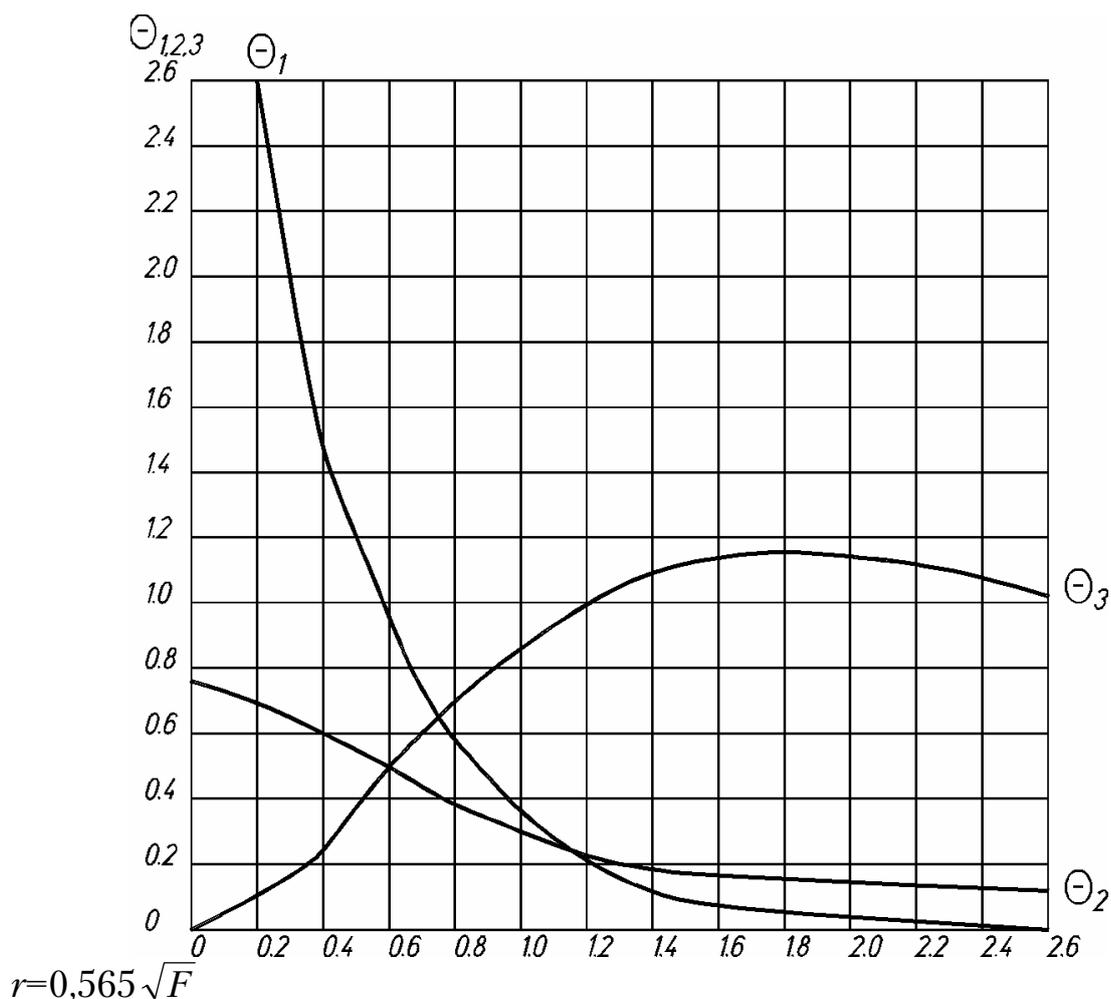


Рис. 37. Графики коэффициентов Θ_1 , Θ_2 , Θ_3

5.4.3. Схема автоматизированного проектирования панелей

Выполнение любого конструктивного расчета связано не только с проверкой прочности и жесткости конструкций, но и с обязательным учетом ряда других требований (унификации, стандартизации, технологии изготовления и т.п.), без соблюдения которых невозможно изготовление современных промышленных конструкций. Кроме того, условиям прочности и жесткости могут отвечать конструкции панелей с достаточно большим диапазоном размеров основных элементов, из которых нужно выбрать наиболее оптимальные, отвечающие экономическим, эксплуатационным, архитектурным или иным требованиям. Все это сопровождается большим объемом вычислений, для выполнения которых целесообразно использовать современную электронно-вычислительную технику. В настоящем пособии не ставится цель разработки конкретных программ для выполнения конструктивных расчетов панелей и нахождения их оптимальных сечений с учетом вышеназванных требований. Но для того, чтобы проектировщик мог при желании авто-

матизировать конструктивный расчет панелей, ниже даются необходимые для этого данные.

На рис. 38 приводится общая схема конструктивного расчета панелей, которая может быть использована как основной алгоритм расчета. При выполнении этапов 1 и 2, связанных с назначением основных размеров и определением геометрических характеристик сечений, рекомендуется пользоваться табл.25 и 26. Для других этапов на схеме указывается лишь нумерация формул настоящего пособия, по которым следует выполнять расчеты.

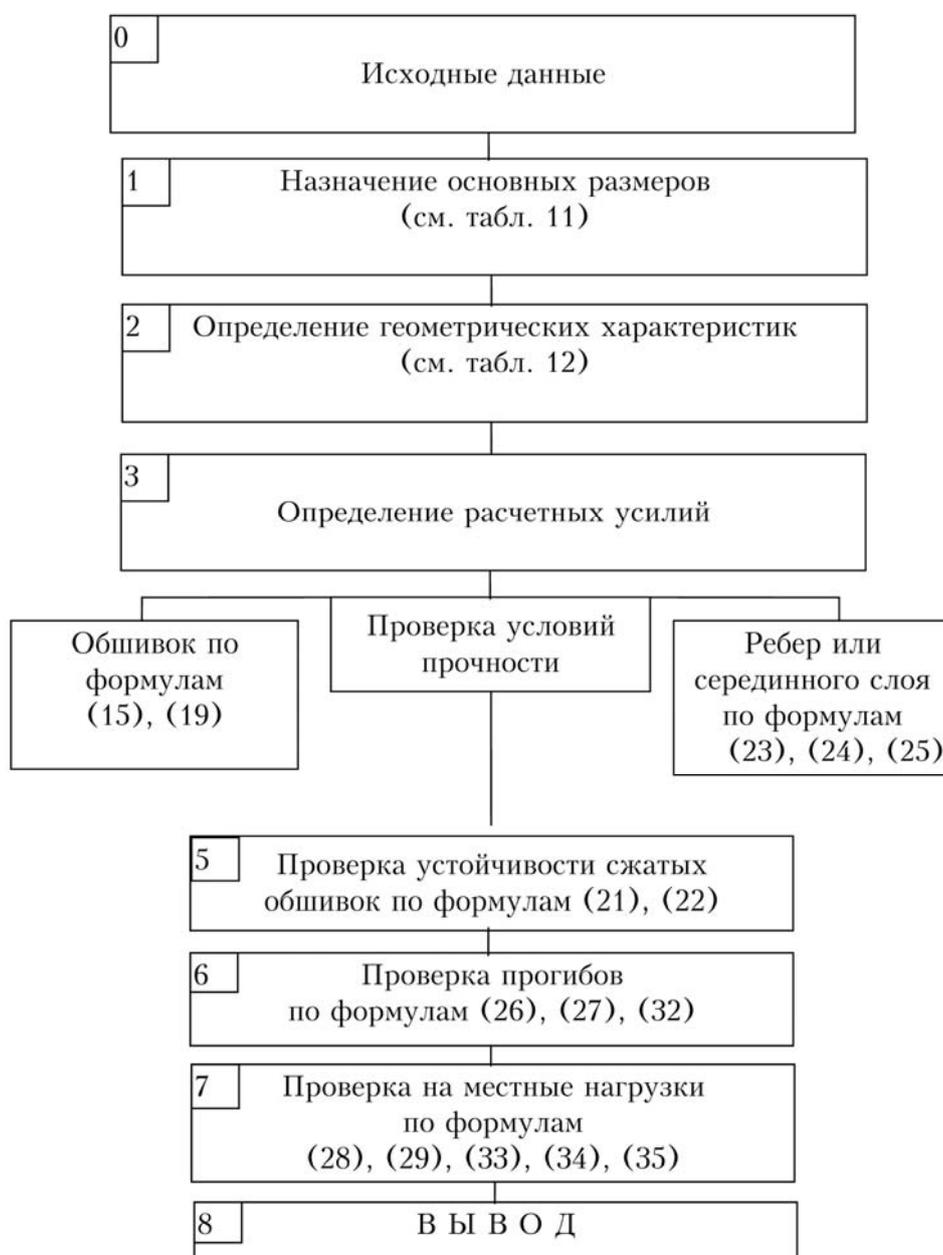


Рис. 38. Схема конструктивного расчета панелей

Таблица 25

Назначение основных размеров элементов панелей

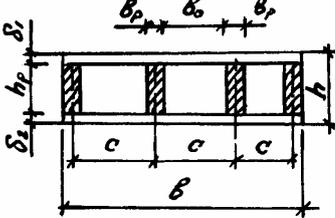
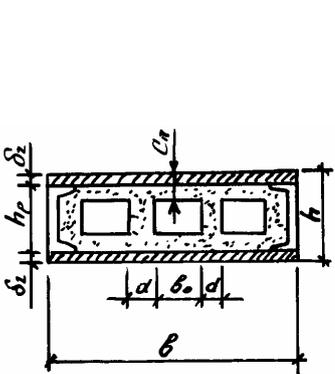
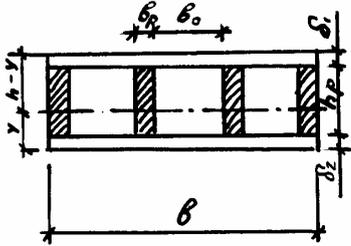
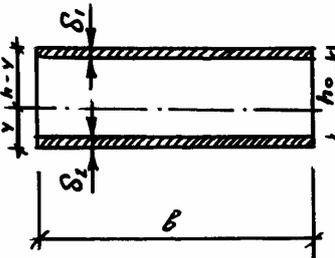
Тип панели	Поперечное сечение	Исходные величины	Обоснование исходных величин	Расчетные формулы
1	2	3	4	5
Ребристые	 <p>l – длина панели $A \times B$ – размеры листов материала обшивок</p>	l b $A \times B$ $[h_p]$ $[b_p]$ $[\delta]$ $R_u^{об}$	Задано Принимается ГОСТ ГОСТ ГОСТ ГОСТ СНиП	$\delta_1 = [\delta]$ $\delta_2 \leq \delta_1 = [\delta]$ $b = \frac{a}{n} (n = 1, 2, 3 \dots)$ $h_{оп} \approx \left(\frac{1}{25} - \frac{1}{35} \right) l$ $h_p = h_{оп} - \delta_1 - \delta_2 = [h_p]$ $h = h_p + \delta_1 + \delta_2$ $b_p \leq \frac{h_p}{4} = [b_p]$ $c = \frac{b - b_p}{n} \leq 1333 \delta_1^2 R_u^{об}$ $b_0 = c - b_p$
3-слойные со сплошным заполнителем		l b $A \times B$ $[h_p]$ $[b_p]$ $[\delta]$ $R_u^{об}$	Задано Принимается ГОСТ ГОСТ ГОСТ СНиП	$\delta_1 = [\delta]$ $\delta_1 = \delta_2 = [\delta]$ $h_{оп} \approx \left(\frac{1}{25} \div \frac{1}{35} \right) l$ $h_p = h_{оп} - \delta_1 - \delta_2 = [h_p]$ $h = h_p + \delta_1 + \delta_2$ $b \leq 250 \text{ мм}$ $40 \leq d \leq \frac{50}{(\delta + c_n) R_{см}}$ $c_n \geq 20 \text{ мм}$ $c_n \geq 0,17 \cdot b_0$ – прод. пустоты $c_n \geq 0,25 \cdot b_0$ – попер. пустоты

Таблица 26

Формулы для определения основных характеристик панелей

Тип панели	Поперечное сечение	Исходные величины	Расчетные формулы
1	2	3	4
Рёбристые		δ_1 δ_2 h_p b_p h b $E_{H.O6}$ E_p $E_{B.O6}$ c n y – по формуле (16)	$b_p = \sum b_p + k \sum b_o$ $I_{np} = I_{B.O6}^{np} + \frac{E_{H.O6}}{E_{B.O6}} I_{H.O6}^{np} + \frac{E_p}{E_{B.O6}} I_p$ $I_{B.O6}^{np} = b_{np} \delta_1 \left(h - y - \frac{\delta_1}{2} \right)^2$ $I_{H.O6}^{np} = b_{np} \delta_2 \left(h - y - \frac{\delta_2}{2} \right)^2$ $I_p = n \left[\frac{b_p \cdot h_p^3}{12} + b_p h_p \left(\frac{h_p}{2} + \delta_2 - y \right)^2 \right]$ $W_{B.O6}^{np} = \frac{I_{np}}{h - y}$ $W_{H.O6}^{np} = \frac{I_{np}}{h}$ $S_{B.O6}^{np} = b \delta_1 \left(h - y - \frac{\delta_1}{2} \right)$ $S_{H.O6}^{np} = b \delta_2 \left(y - \frac{\delta_2}{2} \right)$ $S_{nc}^{np} = S_{B.O6}^{np} + \frac{E_p}{E_{B.O6}} n b_p h_p \left(\frac{h - y - \delta_1}{2} \right)$

1	2	3	4
3-СЛОЙНЫЕ		δ_1 δ_2 h b $E_{\text{в.об}}$ $E_{\text{н.об}}$ h_0 y – по формуле (16)	<p>При $\delta_1 = \delta_2 = \delta$ и $E_{\text{в.об}} = E_{\text{н.об}}$</p> $I = 2\delta b \left(\frac{h_0}{2} \right)^2 = \frac{\delta b h^2}{2}$ $W = \delta b h_0$ $S = \delta b \frac{h_0}{2}$ <p>При $\delta_1 \neq \delta_2$ и $E_{\text{в.об}} = E_{\text{н.об}}$</p> $I = b\delta_1 \left(h - y - \frac{\delta_1}{2} \right)^2 + b\delta_2 \left(y - \frac{\delta_2}{2} \right)^2$ $W_{\text{в.об}} = \frac{I}{h - y};$ $W_{\text{н.об}} = \frac{I}{y}$ $S_{\text{в.об}} = b\delta_1 \left(h - y - \frac{\delta_1}{2} \right)$ $S_{\text{н.об}} = b\delta_2 \left(y - \frac{\delta_2}{2} \right)$ <p>При $\delta_1 \neq \delta_2$ и $E_{\text{в.об}} \neq E_{\text{н.об}}$</p> $I_{\text{пр}} = I_{\text{н.об}} + \frac{E_{\text{в.об}}}{E_{\text{н.об}}} I_{\text{в.об}}$ $W_{\text{в.об}}^{\text{пр}} = \frac{I_{\text{пр}}}{h - y};$ $W_{\text{н.об}}^{\text{пр}} = \frac{I_{\text{пр}}}{y}$ $S_{\text{н.об}}^{\text{пр}} = b\delta \left(y - \frac{\delta_2}{2} \right)$

6. ПРИМЕРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

6.1. Проектирование деревянного настила

Требуется рассчитать рабочий настил под рулонную кровлю холодного покрытия. Покрытие состоит из разреженного рабочего настила (доски сечением $b \times \delta = 150 \times 22$ мм), уложенного с зазором $S_0 = 100$ мм, и верхнего сплошного защитного настила из досок толщиной $\delta_1 = 16$ мм (см. рис.1). Настилы опираются на стропильные ноги, установленные по длине здания с шагом $B = 1,2$ м. Нормативный снеговой покров $p^n = 1,5$ КПа (IV снеговой район). Уклон кровли $i = 1:12$ (около 5°).

Для расчёта рабочего настила вырезают полосу шириной 1 м. Угол наклона кровли к горизонту, ввиду его незначительности, в расчётах не учитываем.

Производим подсчёт нагрузок на 1 пог. м расчётной полосы настила (табл. 27).

Т а б л и ц а 27

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/пог. м	γ_f	Расчётная нагрузка, кН/пог. м
1.	Трёхслойная рулонная кровля	0,15	1,3	0,195
2.	Защитный настил $1,0 \times 1,0 \times 0,016 \times 500 = 8$	0,08	1,1	0,088
3.	Рабочий настил $0,15 \cdot 0,022 \cdot 500 \cdot \frac{100}{15 + 10} = 6,6$	0,066	1,1	0,073
	Итого:	$q^n = 0,296$		$q = 0,356$
4.	Снеговая нагрузка	1,68		2,4
	Всего:	$q^n = 1,976$		$q = 2,756$

Расчётный пролёт настила $l = B = 1,2$ м. Максимальный момент при первом сочетании нагрузок: от собственного веса и снега (см. рис. 5)

$$M' = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{2,756 \cdot 1,2^2}{8} = 0,496 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

При наличии защитного настила действие сосредоточенного монтажного груза $P = 1,00 \cdot 1,2 = 1,2$ кН распределяется на ширину 0,5 м рабочего настила. Тогда расчётная сосредоточенная нагрузка, приходящаяся на ширину настила 1 м, равна:

$$P_{\text{расч}} = \frac{P}{0,5} = \frac{1,2}{0,5} = 2,40 \text{ кН.}$$

Максимальный изгибающий момент при втором сочетании нагрузок (собственный вес и сосредоточенный груз) будет равен (см. рис. 5):

$$M'' = 0,07 \cdot q^H \cdot l^2 + 0,207 \cdot P_{\text{расч}} \cdot l = 0,07 \cdot 0,356 \cdot 1,2^2 + 0,207 \cdot 2,40 \cdot 1,2 = 0,632 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления настила

$$W = \frac{b \cdot \delta^2}{6} \cdot \frac{1,0}{b + S_0} = \frac{15 \cdot 2,2^2}{6} \cdot \frac{1,0}{0,15 + 0,1} = 48,4 \text{ см}^3,$$

где $\frac{1,0}{b + S_0}$ – число досок, укладываемых по ширине настила 1 м.

Проверка прочности настила (формула (1)):

а) при первом сочетании нагрузок

$$\sigma = \frac{M'}{W} = \frac{0,496 \cdot 10^3}{48,4} = 10,25 \text{ МПа} < R_u = 13 \text{ МПа};$$

б) при втором сочетании нагрузок

$$\sigma = \frac{M''}{W} = \frac{0,632 \cdot 10^3}{48,4} = 13,06 \text{ МПа} < 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ МПа}.$$

Проверка прогибов настила производится лишь на первое сочетание нагрузок.

Момент инерции настила

$$J = \frac{b \cdot \delta^3}{12} \cdot \frac{1,0}{b + S_0} = \frac{15 \cdot 2,2^3}{12} \cdot \frac{100}{15 + 10} = 53,24 \text{ см}^4.$$

Относительный прогиб

$$\frac{f}{l} = \frac{2,13 \cdot q^H \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{2,13 \cdot 1,976 \cdot 1,2^3 \cdot 10^5}{384 \cdot 104 \cdot 53,24} = \frac{1}{309} < \frac{1}{150}.$$

Принятый настил удовлетворяет требованиям прочности и жёсткости.

6.2. Проектирование щита покрытия

Рассчитать щит покрытия под асбестоцементную кровлю из волнистых листов марки ОВ.

Уклон кровли $i=0,25$ ($\alpha=14^\circ$; $\cos\alpha=0,970$; $\sin\alpha=0,242$).

Шаг несущих конструкций 3 м. Нормативный снеговой покров $p^H=1,0 \text{ кН/м}^2$ (III снеговой район).

Конструкция щита приведена на рис. 8. Принятые внешние габариты щита соответствуют свободной укладке их непосредственно на несущие конструкции, обеспечивают удобство транспортирования на машинах и устройство кровли из волнистых асбестоцементных листов.

Прогоны-обрешетины выполнены из брусков сечением 50×100 мм, другие элементы решётки – из брусков сечением 50×50 мм.

Подсчет нагрузок на 1 м² щита приведён в табл. 28.

Т а б л и ц а 2 8

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м ²	γ_f	Расчётная нагрузка, кН/м ²
1.	Постоянные Кровля	0,15	1,3	0,195
2.	Обрешетины (0,05×0,1×1×2×5=0,05)	0,05	1,1	0,055
3.	Решётка щита (ориентировочно 50% от веса обрешётки)	0,025	1,1	0,0275
	Итого:	$q^H=0,225$		$q=0,2775$
4.	Временная Снег (III снеговой район) Всего:	1,26 $q^H=1,485$		1,8 $q=2,077$

Погонные нагрузки на одну обрешётку равны:

$$q^H = 1,485 \cdot 0,5 = 0,740 \text{ кН/м};$$

$$q = 2,077 \cdot 0,5 \approx 1,038 \text{ кН/м}.$$

Обрешетины работают на косо́й изгиб. Составляющие нагрузки равны:

перпендикулярно скату

$$q_y^H = q^H \cdot \cos \alpha = 0,74 \cdot 0,97 = 0,717 \text{ кН/м};$$

$$q_y = q \cdot \cos \alpha = 1,038 \cdot 0,97 = 1,00 \text{ кН/м};$$

параллельно скату

$$q_x^H = q^H \cdot \sin \alpha = 0,74 \cdot 0,242 = 0,179 \text{ кН/м};$$

$$q_x = q \cdot \sin \alpha = 1,038 \cdot 0,242 = 0,251 \text{ кН/м}.$$

Расчётный пролёт обрешетины в плоскости, перпендикулярной скату, равен:

$$l = 2990 - 2 \cdot \frac{90}{2} = 2900 \text{ мм},$$

где 90 мм – длина опорной части обрешетины (принята ориентировочно).

В плоскости ската обрешетина работает как двухпролётная неразрезная балка с пролётом $l_1 = \frac{l}{2} = 1450$ мм, так как она на средней стойке щита имеет дополнительную опору.

Максимальные изгибающие моменты равны:

$$M_x = \frac{q_y \cdot l^2}{8} = \frac{1,00 \cdot 2,9^2}{8} = 1,05 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_y = \frac{q_x \cdot l_1^2}{8} = \frac{0,251 \cdot 1,45^2}{8} = 0,066 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления и момент инерции поперечного сечения обрешетины следующие:

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{5 \cdot 10^2}{6} = 83 \text{ см}^3; \quad W_y = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{10 \cdot 5^2}{6} = 41,7 \text{ см}^3;$$

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{5 \cdot 10^3}{12} = 416,7 \text{ см}^4; \quad I_y = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{10 \cdot 5^3}{12} = 104,2 \text{ см}^4.$$

Проверку прочности обрешетины производим по формуле (3):

$$\frac{1,05 \cdot 10^3}{83} + \frac{0,066 \cdot 10^3}{41,7} = 11,2 + 1,5 = 12,7 \text{ МПа} < R_u = 13 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

Проверку прогибов осуществляют по формуле (2):

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot q_y^H \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 0,717 \cdot 2,9^3 \cdot 10^5}{384 \cdot 10^4 \cdot 416,7} = \frac{1}{235} < \frac{1}{200}.$$

Жесткость обеспечена.

Прогиб обрешетины в середине пролета щита подсчитан лишь от нагрузки q_y^H , так как скатная составляющая нагрузки в середине пролета щита прогиба не вызывает.

Пренебрегая незначительной величиной нагрузки от собственного веса, проверим прочность обрешетин на действие монтажной нагрузки $P = 1,2 \times 1,0 = 1,2$ кН, приложенной в середине пролета.

Максимальный изгибающий момент

$$M_x = \frac{P_y \cdot l}{4} = \frac{1,2 \cdot 0,97 \cdot 2,9}{4} = 0,844 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Проверку прочности производим по формуле (1):

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} = \frac{0,844 \cdot 10^3}{83} = 10,1 \text{ МПа} < R_u = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ МПа.}$$

Прочность обеспечена.

6.2.1. Расчёт крепления щита к несущей конструкции

Щит крепится к несущей конструкции гвоздями. Полная составляющая от собственного веса и снеговой нагрузки, приходящейся на весь щит:

$$T_x = q_x \cdot n \cdot l = 0,251 \cdot 4 \cdot 2,9 = 2,91 \text{ кН,}$$

где $n=4$ – количество обрешетин.

Часть этой нагрузки (примерно одна четвёртая) передаётся непосредственно на крайние стойки щита, а другая – через раскосы на упорные бобышки. Усилие на одну бобышку равно:

$$T = \frac{0,75 \cdot T_x}{2} = \frac{0,75 \cdot 2,91}{2} = 1,09 \text{ кН.}$$

Бобышку крепят к стойке гвоздями диаметром 4 мм. Несущая способность односрезного гвоздя

$$T_{гв} = 4,00 \cdot d^2 = 4,00 \cdot 4^2 = 0,64 \text{ кН.}$$

Необходимое количество гвоздей для крепления бобышки

$$n_{гв} = \frac{1,09}{0,64} = 2 \text{ шт.}$$

Необходимое количество гвоздей для крепления щита к несущей конструкции

$$n_{гв} \geq \frac{T_x}{2 \cdot T_{гв}} = \frac{2,91}{2 \cdot 0,64} = 3 \text{ шт.}$$

6.3. Проектирование холодного покрытия из волнистых стеклопластиковых листов

Требуется спроектировать холодное покрытие промышленного здания из волнистых стеклопластиковых листов. Листы укладываются на обрешётку из деревянных брусков. Шаг брусков – 500 мм. Уклон кровли – 18°. Снеговая нагрузка принята по III снеговому району, т.е.

$p_{\text{сн}} = 1,8 \text{ кН/м}^2$. Учитывая то, что лист эксплуатируется в открытых атмосферных условиях, в расчётах принят коэффициент условия работы $m=0,75$.

Принимают волнистые листы из полиэфирного стеклопластика размером 1000×1200 мм. Листы укладываются на 3 обрешетины (200 мм остаётся на стыкование /нахлёстку/ листов), следовательно, лист работает по схеме двухпролётной неразрезной балки с пролётами $l=500$ мм.

Предварительно подбирают номер профиля листа из расчёта прочности его при изгибе. Для расчёта берём полосу шириной 1 м.

Максимальный изгибающий момент в балке (без учёта собственного веса листа, ввиду его незначительной величины) будет равен:

$$M = \frac{p_{\text{сн}} \cdot l^2}{8} = \frac{1,8 \cdot 0,5^2}{8} = 0,056 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

где $p_{\text{сн}} = 1,8 \text{ кН/м}$ – расчётная снеговая нагрузка.

От действия монтажной нагрузки

$$M = 0,207 \cdot P \cdot l = 0,207 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = 0,1242 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Требуемый момент сопротивления находим по наибольшему изгибающему моменту

$$W_{\text{тр}} \geq \frac{M}{m \cdot m_{\text{н}} \cdot R_u} = \frac{0,1242 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 1,2 \cdot 15} = 9,2 \text{ см}^3 / \text{м},$$

где $R_u = 15 \text{ МПа}$ – расчётное сопротивление полиэфирного стеклопластика.

Принимают волнистый лист 90/30 размером $l_{\text{в}} \times h_{\text{в}} \times \delta = 90 \times 30 \times 1,5$ мм, для которого

$$I_{\text{в}} = 1,69 \text{ см}^4, W_{\text{в}} = 1,07 \text{ см}^3,$$

или на 1 пог. м

$$I = n \cdot I_{\text{в}} = 11,1 \cdot 1,69 = 18,75 \text{ см}^4, W = n \cdot W_{\text{в}} = 11,1 \cdot 1,07 = 11,87 \text{ см}^3,$$

$$n = \frac{100}{9} = 11,1 \text{ – количество волн на 1 пог.м.}$$

Проверяют прочность, устойчивость и жёсткость принятого листа. Нормативная и расчётная нагрузки с учётом собственного веса листа равны:

$$q = \gamma_f \cdot g_{\text{св}}^{\text{н}} + p_{\text{сн}} = 1,1 \cdot 0,03 + 1,8 = 1,833 \text{ кН/м}.$$

Максимальный изгибающий момент от этих нагрузок составит

$$M_1 = \frac{q \cdot l^2}{8} = 0,057 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

При втором сочетании нагрузок, т.е. от действия монтажной нагрузки $P = \gamma_f \cdot P^H = 1,2 \cdot 1,0 = 1,2$ кН и собственного веса, максимальный изгибающий момент будет равен:

$$M_2 = 0,07 \cdot g \cdot l^2 + 0,207 \cdot P \cdot l = 0,07 \cdot 0,03 \cdot 0,5^2 + 0,207 \cdot 1,2 \cdot 0,5 = \\ = 0,0005 + 0,1242 = 0,1247 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Рассчитывают на второе сочетание нагрузок, так как $M_2 \gg M_1$.

Проверка прочности:

$$\sigma = \frac{M_2}{W} = \frac{0,1247 \cdot 10^3}{11,89} = 10,5 \text{ МПа} < 0,75 \cdot 1,2 \cdot 15 = 13,5 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

Проверку прогибов производим только на нагрузки от собственного веса и снега, т.е. от $q^H = 1,29$ кН/м, по формуле

$$\frac{f}{l} = \frac{2,13 \cdot q^H \cdot l^3}{384 \cdot 0,75 \cdot E \cdot I} = \frac{2,13 \cdot 1,29 \cdot 5^3 \cdot 10^5}{384 \cdot 0,75 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 18,75} = \frac{1}{472} < \left[\frac{1}{150} \right].$$

Жёсткость листа обеспечена.

Проверяют устойчивость листа по формуле (4):

$$\frac{M_B}{W_B} = \frac{M \cdot l_B}{W_B} = \frac{0,1247 \cdot 0,09 \cdot 10^3}{1,07} = 10,5 \text{ МПа} \leq \frac{1,92 \cdot E_{\text{пр}} \cdot \delta h_B}{4 \cdot h_B^2 + l_B^2} = \\ = \frac{1,92 \cdot 3,57 \cdot 0,15 \cdot 3,0}{4 \cdot 3^2 + 9^2} = 26,4 \text{ МПа},$$

где $E_{\text{пр}} = \frac{E}{1-\mu} = \frac{3000}{1-0,4^2} = 3570$ МПа – приведённый модуль упругости стеклопластика.

Устойчивость волнистого листа обеспечена.

Проверяют прочность листа на действие касательных напряжений по формуле (3):

$$\tau = \frac{0,75 \cdot Q \cdot \sin \alpha}{n \cdot h_B \cdot \delta} = \frac{0,75 \cdot 0,571 \cdot \sin 45^\circ \cdot 10}{11,1 \cdot 3 \cdot 0,15} = 0,54 \text{ МПа} < R_{cr} = 9 \text{ МПа},$$

где $Q = \frac{5}{8} \cdot q \cdot l = \frac{5}{8} \cdot 1,83 \cdot 0,5 = 0,571$ кН;

$$\alpha = \arctg \frac{3,14 \cdot h_B}{l_B} = \arctg 1,04 \approx 45^\circ.$$

Прочность, устойчивость и жёсткость принятого волнистого листа обеспечены.

6.4. Проектирование междуэтажного перекрытия

Требуется запроектировать междуэтажное перекрытие жилого дома в деревянных конструкциях. Пролёт в свету $l_0=6,1$ м. В качестве основных несущих балок используют сосновые брусья 2-го сорта. Шаг балок $B=900$ мм. Настил чистого пола выполняется из досок 2-го сорта, шириной 118 мм (после строжки досок шириной 125 мм). Щиты наката выполняются из сосновых досок 3-го сорта сечением 25×150 мм. Конструкция междуэтажного перекрытия показана на рис. 2.

6.4.1. Подсчёт нагрузок

Постоянные и временные нагрузки, действующие на перекрытие, подсчитаны в табл. 29.

Т а б л и ц а 2 8

Подсчёт нагрузок на перекрытие

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м ²	γ_f	Расчётная нагрузка, кН/м ²
	Постоянные нагрузки			
1.	Настил чистого пола $\delta=44$ мм $0,044 \times 1,0 \times 1,0 \times 550 = 22,0$	0,220	1,1	0,242
2.	Утеплитель, $h=114$ мм, $\gamma=700$ кг/м ³	0,795	1,3	0,910
3.	Глиняная смазка, $\delta=20$ мм	0,320	1,2	0,384
4.	Щит наката, $\delta=25$ мм	0,125	1,1	0,138
5.	Подшивка потолка, $\delta=25$ мм	0,125	1,1	0,138
6.	Штукатурка потолка $\delta=20$ мм	0,300	1,2	0,360
7.	Собственный вес балки	0,300	1,1	0,330
	Итого:	2,190		2,612
	Полезная нагрузка	2,0	1,2	2,4
	Всего:	$q^H=4,19$		$q=5,012$

6.4.2. Расчёт настила чистого пола

Для расчёта вырезают полосу шириной 1 м. Настил рассчитывают по схеме двухпролётной неразрезной балки на два сочетания нагрузок:

- собственный вес плюс полезная нагрузка;
- собственный вес плюс сосредоточенный груз $P^H=1$ кН.

При сочетании а) величины нагрузок равны:

$$q^H = g_{c,b}^H + p^H = 0,22 + 2,0 = 2,22 \text{ кН/м};$$

$$q = g_{c,b} + p = 0,242 + 2,4 = 2,642 \text{ кН/м}.$$

Максимальный изгибающий момент от действия этих нагрузок находится над промежуточной опорой и равен:

$$M_a = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{2,642 \cdot 0,9^2}{8} = 0,268 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

При сочетании б) расчётными нагрузками будут $g_{с.в.} = 0,242$ кН/м и сосредоточенный груз $P = \gamma_f P^н = 1,2 \cdot 1 = 1,2$ кН.

Сосредоточенный груз P при ширине досок сплошного настила, равной 118 мм (<150 мм), распределяется на две доски. На ширину 1 м (расчётной полосы) величина груза P будет равна:

$$P_{\text{расч}} = P \cdot \frac{1,0}{2 \cdot 0,118} = 5,08 \text{ кН}.$$

Максимальный изгибающий момент при этом сочетании нагрузок будет равен:

$$\begin{aligned} M_6 &= 0,07 \cdot g_{с.в.} \cdot l^2 + 0,207 \cdot P \cdot l = \\ &= 0,07 \cdot 0,242 \cdot 0,9^2 + 0,207 \cdot 5,08 \cdot 0,9 = 0,960 \text{ кН} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Поскольку M_6 значительно больше, чем M_a , расчёт прочности ведут на второе сочетание нагрузок. Для расчёта принимают доски толщиной 50 мм, которые после фрезерования будут иметь толщину 44 мм.

Проверка прочности настила:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0,96 \cdot 10^3}{322} = 3 \text{ МПа} < 1,2 \cdot R_u = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ МПа},$$

где $W = \frac{100 \cdot 4,4^2}{6} = 322 \text{ см}^3$ – момент сопротивления расчётной полосы настила.

Прочность обеспечена.

Проверку прогибов производим только на первое сочетание нагрузок:

$$\frac{f}{l} = \frac{2,13 \cdot q^н \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{2,13 \cdot 2,22 \cdot 0,9^3 \cdot 10^5}{384 \cdot 10^4 \cdot 709} = \frac{1}{7890} \ll \left[\frac{1}{150} \right],$$

где $I = \frac{100 \cdot 4,4^3}{12} = 709 \text{ см}^4$ – момент инерции расчётной полосы настила.

Прочность и жёсткость настила обеспечены с большим запасом, поэтому толщину досок пола можно уменьшить до величины 32 мм (после фрезерования досок $\delta = 40$ мм). Для расчётной полосы из таких досок имеем:

$$W = \frac{100 \cdot 3,2^2}{6} = 170,6 \text{ см}^3;$$

$$I = \frac{100 \cdot 3,2^3}{12} = 273 \text{ см}^3.$$

Проверка прочности:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0,96 \cdot 10^3}{170,6} = 5,7 \text{ МПа} < 1,2 \cdot R_u = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

Проверка прогибов:

$$\frac{f}{l} = \frac{2,13 \cdot q^n \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{2,13 \cdot 2,22 \cdot 0,9^3 \cdot 10^5}{384 \cdot 10^4 \cdot 273} = \frac{1}{3040} \ll \left[\frac{1}{150} \right].$$

Прочность и жёсткость настила из досок толщиной 32 мм обеспечены.

6.4.3. Расчёт щита наката

Щит наката выполняется из сосновых досок 3-го сорта толщиной 25 мм. Он работает по схеме однопролётной балки. Расчёт ведём на ширину настила, равную 1 м.

Геометрические характеристики:

$$W = \frac{100 \cdot 2,5^2}{6} = 104 \text{ см}^3;$$

$$I = \frac{100 \cdot 2,5^3}{12} = 130 \text{ см}^3.$$

Настил несёт на себе нагрузку от пароизоляции (глиняная смазка) и утеплителя, т.е. полная расчётная нагрузка будет равна:

$$q = 0,138 + 0,384 + 0,910 = 1,432 \text{ кН/м}.$$

Максимальный изгибающий момент

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{1,432 \cdot 0,9^2}{8} = 0,145 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Проверка прочности настила щита:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0,145 \cdot 10^3}{104} = 1,4 \text{ МПа} < R_u = 8,5 \text{ МПа}.$$

Прочность щита наката обеспечена.

6.4.4. Расчёт балок перекрытия

Пролёт балок в свету $l_0=6,1$ м. Расчётный пролёт при опирании балок на кирпичные стены $l=6,1+0,25=6,35$ м.

Погонные нагрузки на балку равны:

$$q^H = 4,19 \cdot 0,9 = 3,77 \text{ кН/м};$$

$$q = 5,012 \cdot 0,9 = 4,51 \text{ кН/м}.$$

Максимальный изгибающий момент в балке

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{4,51 \cdot 6,35^2}{8} = 22,73 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Требуемый момент сопротивления балки

$$W_{\text{тр}} \geq \frac{M}{R_u} = \frac{22,73 \cdot 10^3}{13} = 1748 \text{ см}^3.$$

Принимают брус 225×250 мм ($W=2343 \text{ см}^3 > W_{\text{тр}}$, $I=29297 \text{ см}^4$).

Проверка прогибов:

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot q^H \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 3,77 \cdot 6,35^3 \cdot 10^5}{384 \cdot 10^4 \cdot 29297} = \frac{1}{233} > \left[\frac{1}{250} \right].$$

Жёсткость недостаточна.

Принимают из условия жёсткости брус 250×250 мм ($W=2600 \text{ см}^3$, $I=32552 \text{ см}^4$), который удовлетворяет требованиям жёсткости, так как

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot q^H \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 3,77 \cdot 6,35^3 \cdot 10^5}{384 \cdot 10^4 \cdot 32552} = \frac{1}{259} < \left[\frac{1}{250} \right].$$

Проверку прочности бруса 250×250 мм можно не проводить, так как для него $W=2600 \text{ см}^3 > W_{\text{тр}}=1748 \text{ см}^3$, подсчитанного из условия прочности.

6.5. Проектирование светопрозрачной стеновой панели

Требуется запроектировать светопрозрачную стеновую панель размером 1200×6000 мм для плавательного бассейна. Здание отапливаемое. Район строительства – г. Пенза.

Для получения необходимого сопротивления теплопередаче панель конструируют трёхслойной (рис. 31).

Обшивки принимают из плоских листов полиэфирного стеклопластика толщиной 2 мм, обрамление – из сосновых антисептированных

досок сечением 50×150 мм (после строжки 44×142 мм). В качестве среднего слоя используют кольцевые отрезки труб диаметром 200 мм из полиэфирного стеклопластика. Применение колец обеспечивает устойчивость и жёсткость тонких листов обшивки и самого среднего слоя. Обшивки, обрамление и средний слой из колец соединяются между собой полиэфирным клеем. В целях повышения огнестойкости клеевых швов, соединяющих обшивки и обрамление, по их длине ставятся шурупы с шагом 200 мм. Общий вид панели показан на рис. 39.

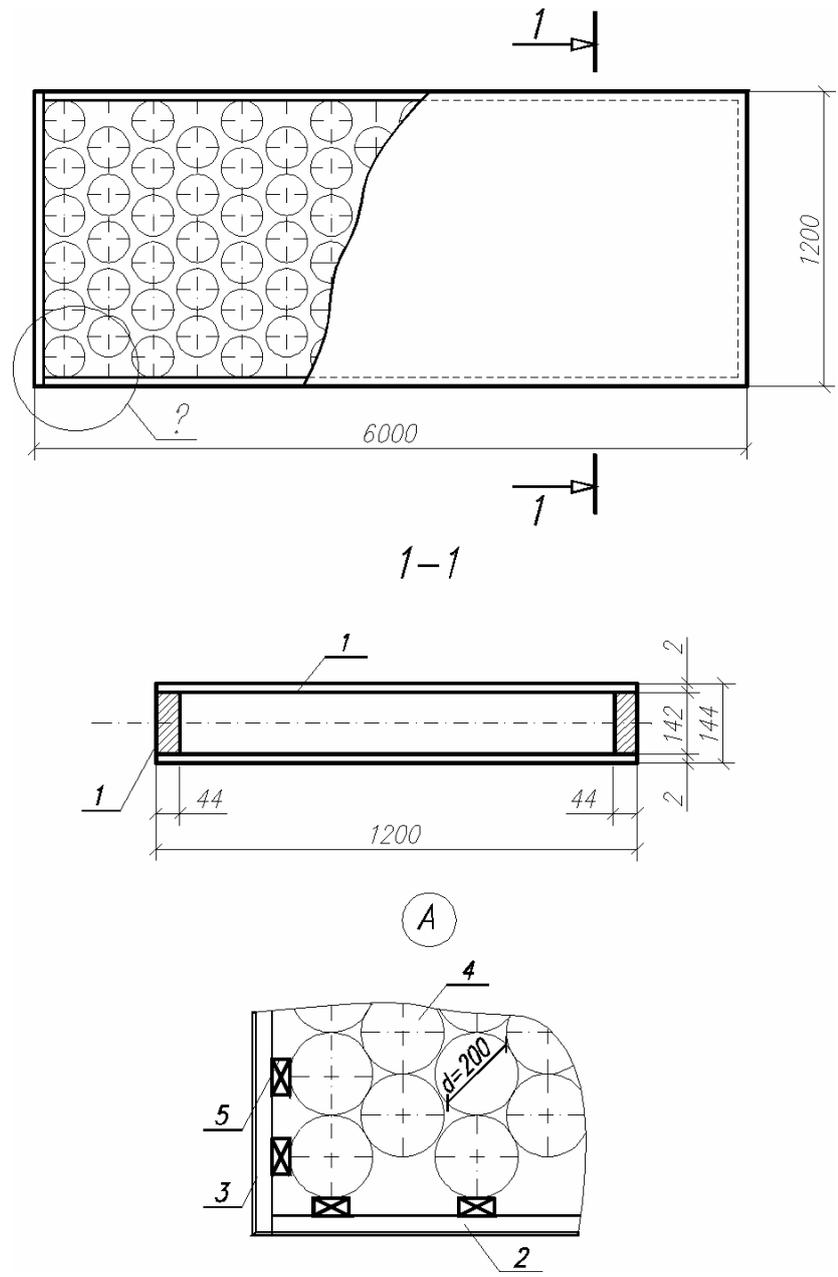


Рис. 39. Светопроницаемая стеновая панель:
 1 – обшивки из светопроницаемого стеклопластика; 2 – продольное обрамление; 3 – поперечное обрамление; 4 – кольца из стеклопластика;
 5 – прокладки

6.5.1. Назначение основных размеров панели

Ориентировочную высоту сечения панели $h_{\text{оп}}$, вследствие повышенных требований к её жесткости, назначают в пределах

$$h_{\text{оп}} = \frac{1}{40} \cdot l = \frac{6000}{40} = 150 \text{ мм.}$$

Принимают $h_p = 142$ мм (из доски 50×150 мм). Тогда высота сечения панели будет равна:

$$h = h_p + \delta + \delta = 142 + 2 + 2 = 146 \text{ мм.}$$

Толщина обрамления с учётом строжки досок получается равной 44 мм ($> \frac{h_p}{4} = \frac{142}{4} = 36$ мм).

6.5.2. Определение геометрических характеристик панели

Исходные данные для их определения:

$E_{\text{об}} = 3 \cdot 10^3$ МПа – модуль упругости полиэфирного стеклопластика;

$$E_{\text{об}}^{\text{нр}} = \frac{E_{\text{нр}}}{1 - \mu^2} = \frac{3 \cdot 10^3}{(1 - 0,4^2)} = 3,5 \cdot 10^3 \text{ МПа;}$$

$\mu = 0,4$ – коэффициент Пуассона для стеклопластика;

$E_p = 10^4$ – модуль упругости для древесины;

тогда

$$\eta = \frac{E_p}{E_{\text{об}}} = 3,33.$$

При определении геометрических характеристик панели коэффициенты условий работы для верхней и нижней обшивок принимают условно одинаковыми, что даёт возможность рассматривать сечение как симметричное.

Определяют, к какому классу относится панель, для чего подсчитывают сначала моменты инерции обшивок и рёбер (обрамления) и соотношения их жесткостей.

$$I_{\text{об}} = \frac{b \cdot (h^3 - h_p^3)}{12} = \frac{120 \cdot (14,6^3 - 14,2^3)}{12} = 2491 \text{ см}^4;$$

$$I_p = 2 \cdot \frac{b_p \cdot h_p^3}{12} = 2 \cdot \frac{4,4 \cdot 14,2^3}{12} = 2100 \text{ см}^4;$$

$$\frac{E_p \cdot I_p}{E_{об} \cdot I_{об}} = 3,33 \cdot \frac{2100}{2491} = 2,8.$$

Соотношение жесткостей рёбер и обшивок, равное 2,8, больше чем $0,8 \cdot \frac{e}{l} = 0,8 \cdot \frac{120}{600} = 0,16$, следовательно, в расчёте панели необходимо учитывать совместную работу обшивок и рёбер.

Приведённая ширина панели равна:

$$b_{пр} = k \cdot b = 0,85 \cdot 120 = 102 \text{ см},$$

где $k=0,85$ принят по графику рис. 25 при $\frac{l}{e} = 5$.

Приведённый момент инерции всего сечения относительно нейтральной оси равен:

$$I_{пр} = I_{об}^{пр} + \eta \cdot I_p = \frac{b_{пр} \cdot (h^3 - h_p^3)}{12} + \eta \cdot 2 \cdot \frac{b_p \cdot h_p^3}{12} =$$

$$\frac{102 \cdot (14,6^3 - 14,2^3)}{12} + 3,33 \cdot 2 \cdot \frac{4,4 \cdot 14,2^3}{12} = 9047 \text{ см}^4.$$

Приведённый момент сопротивления обшивок

$$W_{об}^{пр} = \frac{2 \cdot I_{пр}}{h} = \frac{2 \cdot 9047}{14,6} = 1239 \text{ см}^3.$$

Статический момент обшивок относительно нейтральной оси равен:

$$S^{об} = b \cdot \delta \left(\frac{h}{2} - \frac{\delta}{2} \right) = 120 \cdot 0,2 \cdot \left(\frac{14,6}{2} - \frac{0,2}{2} \right) = 172,8 \text{ см}^3.$$

6.5.3. Подсчёт нагрузок

Стеновая панель работает на восприятие ветровой нагрузки. Собственным весом панели пренебрегаем, ввиду его незначительности. Для предусмотренного района строительства, согласно СНиП 2.01.07-85, имеем:

$$q_B^H = 0,30 \text{ кПа (30 кгс/м}^2\text{)}.$$

Погонные нормативные и расчётные нагрузки, действующие на панель со стороны активного давления ветра, равны:

$$q^H = 0,8 \cdot q_B^H \cdot b = 0,8 \cdot 0,3 \cdot 1,2 = 0,288 \text{ кН/м};$$

$$q = 0,8 \cdot \gamma_f \cdot q_B^H \cdot b = 0,8 \cdot 1,4 \cdot 0,3 \cdot 1,2 = 0,403 \text{ кН/м},$$

где коэффициенты 0,8 и γ_f приняты по СНиП 2.01.07-85 “Нагрузки и воздействия”.

6.5.4. Определение расчётных усилий

Панель под действием ветровой нагрузки работает на изгиб как балка на двух опорах. Максимальный изгибающий момент и поперечная сила равны:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{0,403 \cdot 5,94^2}{8} = 1,777 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{0,403 \cdot 5,94}{2} = 1,197 \text{ кН},$$

где $l = L - b_{\text{оп}} = 6,0 - 0,06 = 5,94$ м – расчётный пролёт при ширине опорной части $b_{\text{оп}} = 0,06$ м.

Проверка несущей способности панели.

а) Проверка прочности нижней растянутой обшивки:

$$\sigma_p = \frac{M}{k_1 \cdot W_{\text{пр}}^{\text{об}}} = \frac{1,777 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 1239} = 1,43 \text{ МПа} < R_p = 15 \text{ МПа},$$

где коэффициент k_1 подсчитан по формуле (20):

$$k_1 = 0,91 + 0,24 \cdot 1 \cdot \frac{10^4 \cdot 0,044 \cdot 0,142}{3,5 \cdot 10^3 \cdot 0,002 \cdot 1,2} = 2,7 > 1, \text{ принят равным } 1.$$

б) Проверка прочности верхней обшивки:

$$\sigma_c = \frac{M}{k_1 \cdot W_{\text{пр}}^{\text{об}}} = \frac{1,777 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 1239} = 1,43 \text{ МПа} < m_c \cdot R_c = 0,75 \cdot 15 = 12,5 \text{ МПа},$$

где $m_c = 0,75$ – коэффициент условия работы для стеклопластика полиэфирного, эксплуатируемого в атмосферных условиях районов средней полосы страны.

Прочность сжатой и растянутой обшивок обеспечена.

в) Проверка прочности рёбер:

$$\sigma = \frac{M}{I_{\text{пр}}} \cdot \frac{h_p}{2} \cdot \frac{E_p}{E_{\text{об}}} = \frac{1,777 \cdot 10^3}{9047} \cdot \frac{14,2}{2} \cdot 3,33 = 4,65 \text{ МПа} < R_u = 13 \text{ МПа},$$

где $R_u = 13$ МПа – расчётное сопротивление древесины сосны 2-го сорта.

г) Проверка прочности клеевых швов, прикрепляющих обшивки и рёбра:

$$\sigma = \frac{Q \cdot S_{об}}{I_{пр} \cdot \sum b_p} = \frac{1,197 \cdot 172,8 \cdot 10}{9047 \cdot 2 \cdot 4,4} = 0,03 \text{ МПа} < R_{ск} = 1,5 \text{ МПа}.$$

Прочность швов обеспечена.

д) Проверка обшивки на местный изгиб.

Обшивку рассматривают как круглую пластинку радиусом $r=100$ мм, закреплённую по контуру и нагруженную по всей площади равномерно-распределённой нагрузкой q .

Максимальный изгибающий момент в круглой пластинке

$$M = \frac{q \cdot r^2}{8} \cdot (3 + \mu) = \frac{0,403 \cdot 0,1^2}{8} \cdot (3 + 0,4) = 0,00171 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Проверка прочности обшивки:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0,00171 \cdot 10^{-3}}{\frac{1 \cdot 0,002^2}{6}} = 2,6 \text{ МПа} < R_u = 15 \text{ МПа}.$$

Прогиб в центре круга равен:

$$f = \frac{q^H \cdot r^4}{64 \cdot D} = \frac{0,288 \cdot 0,1^4 \cdot 10^{-3}}{64 \cdot 2,32 \cdot 10^{-6}} = 0,0002 \text{ м} = 0,2 \text{ мм},$$

где $D = \frac{E \cdot \delta^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 0,002^3}{12 \cdot (1 - 0,4^4)} = 2,32 \cdot 10^{-6} \text{ МН} \cdot \text{м}$ – цилиндрическая жёсткость обшивки.

Относительный прогиб обшивки при её местном изгибе меньше допустимого, т.е.

$$\frac{f}{2 \cdot r} = \frac{0,2}{2 \cdot 100} = \frac{1}{1000} \leq \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{75}.$$

е) Проверка устойчивости сжатой обшивки.

Для проверки устойчивости сжатой обшивки, подкреплённой кольцами, используют с некоторой погрешностью формулу для опёртой по контуру квадратной пластины, сжатой в одном направлении, т.е. формулу (22).

Критические напряжения для такой пластины равны:

$$\sigma_{кр} = k_{кр} \cdot E_{об}^{пр} \cdot \left(\frac{\delta}{d} \right)^2 = 3,3 \cdot 3,5 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,002}{0,2} \right)^2 = 1,2 \text{ МПа}.$$

Фактические напряжения в сжатой обшивке $\sigma=1,43$ МПа несколько больше, чем $\sigma_{кр}=1,2$ МПа. Однако, учитывая ряд факторов, повышающих критические напряжения, а именно, обшивка приклеивается к

кольцам и фактически заземлена по контуру, пластинка не квадратная, а круглая и др., можно заключить, что устойчивость сжатой обшивки будет обеспечена.

Проверка прогибов.

Проверку прогибов панели производят по формуле (27):

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot q^n \cdot l^3}{384 \cdot m_c \cdot E_{об} \cdot I_{пр}} = \frac{5 \cdot 0,288 \cdot 5,94^3 \cdot 10^5}{384 \cdot 0,75 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 9047} = \frac{1}{259} < \left[\frac{1}{250} \right].$$

Таким образом, прочность панели обеспечена с большим запасом, решающим условием является местная устойчивость обшивки, повысить которую можно увеличением толщины обшивки или уменьшением диаметра колец срединного слоя.

6.6. Проектирование клефанерной панели холодного покрытия

Требуется запроектировать деревянное покрытие из клефанерных панелей над неотапливаемым зданием склада. Кровля рубероидная. В качестве несущих конструкций покрытия используются клеодошчатые арки с радиусом кривизны $r=20$ м. Шаг арок – 6 м.

6.6.1. Выбор конструкции и назначение основных размеров

Исходя из стандартных размеров листов фанеры и шага несущих арок принимают клефанерные панели размером в плане 1500×6000 мм. (С учётом стыкования и рекомендуемых допусков на изготовление панели номинальные её размеры будут 1490×5990 мм.)

Общую высоту назначают в пределах $\left(\frac{1}{25} \dots \frac{1}{35} \right) \cdot l$, учитывая при этом стандартные размеры принятых материалов (досок и фанеры).

Принимаем $h=h_p+\delta_\phi=192+10=202$ мм, что составляет примерно $\frac{1}{30} \cdot l$.

Несущие рёбра проектируют из досок 44×192 мм (вчерне 50×200 мм). Фанеру принимают марки ФСФ сорта В/ВВ толщиной 10 мм. Количество рёбер назначают, исходя из предельного шага (см. п.5.3.1), т.е.

$$[c] = 1333 \cdot \delta^2 \cdot R_{u \phi.90} = 1333 \cdot 0,01^2 \cdot 6,5 = 0,866 \text{ м} = 866 \text{ мм},$$

где $R_{u \phi.90} = 6,5$ МПа – расчётное сопротивление фанеры изгибу в поперечном направлении.

Исходя из предельного шага $[c]$, по ширине панели можно поставить четыре ребра. Тогда шаг рёбер

$$c = \frac{b - b_p}{3} = \frac{1490 - 44}{3} = 482 \text{ мм} < [c] = 866 \text{ мм}.$$

Другие необходимые размеры поперечного сечения панели приведены на рис. 40. Поперечное сечение на рис. 32 для расчёта панели условно показано плоским. Фактически из-за удобства укладки панелей на криволинейный пояс арки им придаётся кривизна с радиусом $r=20,0$ м. Криволинейная поверхность панели создаётся путём приклеивания фанеры к торцевым обрамляющим рёбрам (см. рис. 40), выполненным из строганных досок сечением 44×225 мм, имеющих очертание верхней грани по дуге окружности $r=20,192$ м, а нижней грани – $r=20,0$ м.

6.6.2. Определение геометрических характеристик

При определении геометрических характеристик поперечного сечения панели учитывают, что модули упругости древесины и фанеры различны, а именно: $E_{др} = 10^4$ МПа, $E_{ф} = 9 \cdot 10^3$ МПа. Отношение их равно:

$$\eta = \frac{E_{ф}}{E_{др}} = 0,9. \text{ Поскольку сечение панели несимметричное, то сначала}$$

необходимо найти положение центра тяжести приведённого сечения. Для этого находят приведённую площадь

$$A_{пр} = A_{др} + \eta \cdot A_{ф} = 4 \cdot 4,4 \cdot 19,2 + 0,9 \cdot 1,0 \cdot 149 = 472,9 \text{ см}^2$$

и приведённый статический момент относительно оси x_1

$$S_{пр x_1} = S_{др} + \eta \cdot S_{ф} = 4 \cdot 4,4 \cdot 19,2 \cdot 9,6 + 0,9 \cdot 149 \cdot 1 \cdot 19,7 = 5903,5 \text{ см}^3.$$

Положение центра тяжести приведённого сечения отстоит от оси x_1 на расстоянии

$$y = \frac{S_{пр x_1}}{A_{пр}} = \frac{5903,5}{472,9} = 12,48 \text{ см, тогда } h - y = 20,2 - 12,48 = 7,72 \text{ см}.$$

Для подсчёта приведённых геометрических характеристик определяют приведённую ширину обшивки по формуле

$$b_{пр} = k \cdot b = 0,9 \cdot 149 = 134,1 \text{ см},$$

где коэффициент $k=0,9$ при $l > 6 \cdot c$ согласно СНиП II-25-80.

Приведённый (к материалу древесины) момент инерции сечения панели относительно центральной оси x равен:

$$I_{пр} = I_{др} + \eta \cdot I_{ф} = 4 \cdot \left(\frac{4,4 \cdot 19,2^3}{12} + 4,4 \cdot 19,2 \cdot 2,88^2 \right) + 0,9 \cdot 1 \cdot 134,1 \cdot (7,72 - 0,5)^2 = 19503 \text{ см}^3.$$

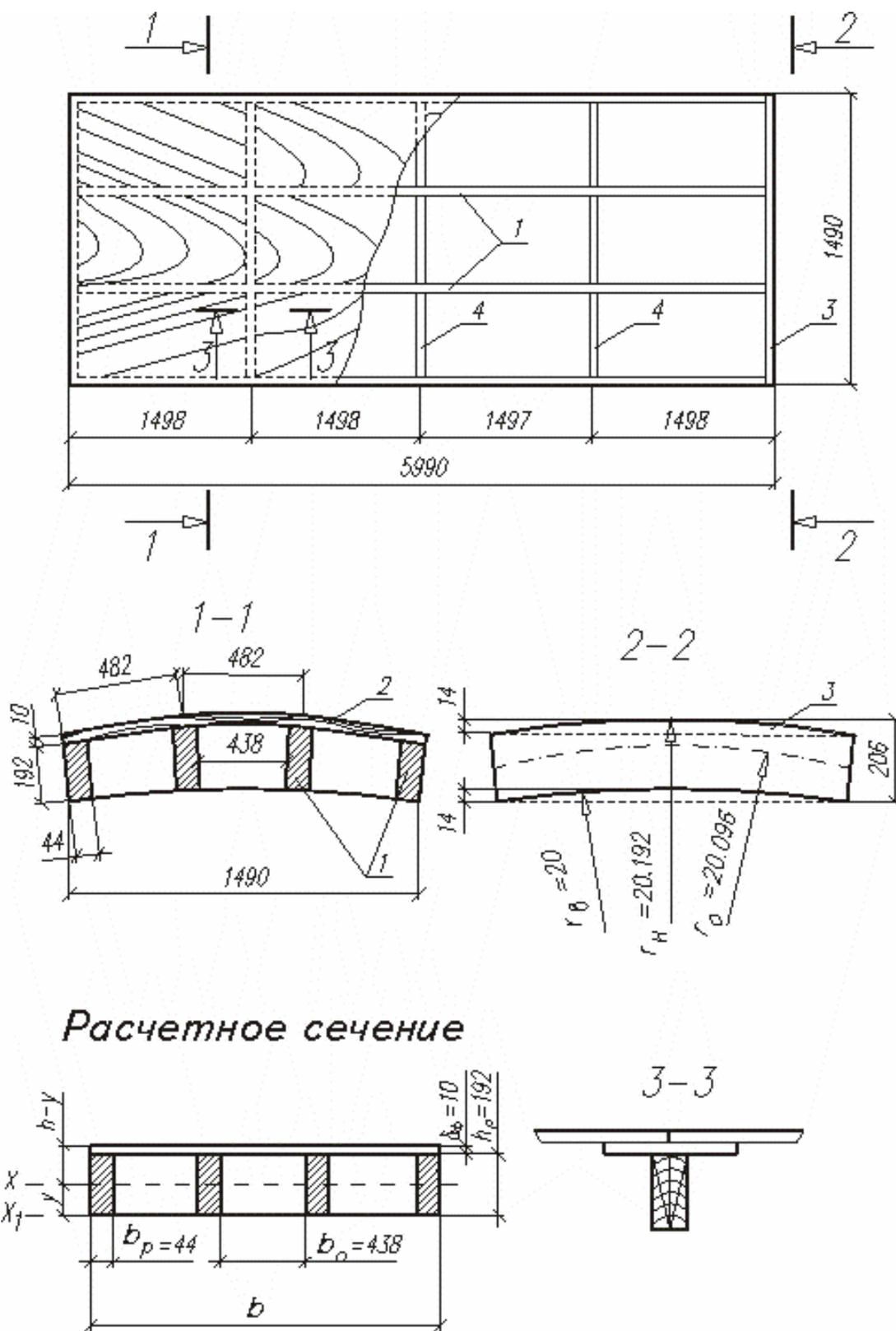


Рис. 40. Клефанерная панель холодного покрытия:
 1 – продольные рёбра; 2 – фанерная обшивка; 3 – поперечное торцевое ребро; 4 – поперечные рёбра

Приведённый момент сопротивления деревянных рёбер

$$W_{\text{пр др}} = \frac{I_{\text{пр}}}{y} = \frac{19503}{12,48} = 1562 \text{ см}^3.$$

Этот момент сопротивления принят для дальнейших расчётов, так как он меньше, чем момент сопротивления рёбер по другой кромке:

$$W'_{\text{пр др}} = \frac{I_{\text{пр}}}{h-y-\delta} = \frac{19503}{20,2-12,48-1,0} = 2902 \text{ см}^3.$$

Приведённый (к материалу фанеры) момент сопротивления обшивки

$$W_{\text{пр. ф}} = \frac{I_{\text{пр}}}{y-h} \cdot \frac{1}{\eta} = \frac{19503}{7,72} \cdot \frac{1}{0,9} = 2807 \text{ см}^3.$$

Приведённый (к материалу древесины) статический момент обшивки

$$S_{\text{пр}}^{\text{об}} = \eta \cdot \delta_{\text{ф}} \cdot b \cdot \left(h - y - \frac{\delta_{\text{ф}}}{2} \right) = \\ = 0,9 \cdot 1,0 \cdot 149 \cdot (20,2 - 12,48 - 0,5) = 974,7 \text{ см}^3.$$

6.6.3. Посчёт нагрузок

Постоянные нагрузки, действующие на панель, подсчитаны по фактическому весу каждого элемента панели, исходя из их объёма и плотности материала, из которого они сделаны. Снеговая нагрузка принята для III снегового района. Нагрузки подсчитаны на 1 м² и приведены в табл. 30.

Т а б л и ц а 3 0

Сбор нагрузок на панель

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативная нагрузка q^n , Н/м ²	γ_f	Расчётная нагрузка q , Н/м ²
	Постоянные нагрузки			
1.	Кровля (3 слоя рубероида)	150	1,3	195
2.	Обшивка	75	1,1	82,5
3.	Рёбра	125	1,1	137,5
	Итого:	350		415
	Снег (III район)	1260		1800
	Всего:	1610		2215

Погонные нагрузки (на всю ширину панели $b=1,5$ м):

$$q^H = 1610 \cdot 1,5 = 2415 \text{ Н/м} = 2,4 \text{ кН/м};$$

$$q = 2215 \cdot 1,5 = 3322 \text{ Н/м} = 3,3 \text{ кН/м}.$$

1. Определение расчётных усилий

Панель работает как свободно лежащая балка на двух опорах, поэтому максимальные усилия равны:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{3,3 \cdot 5,94^2}{8} = 14,55 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{3,3 \cdot 5,94}{2} = 9,8 \text{ кН},$$

где $l=6,00-0,06=5,94$ м – расчётный пролёт при ширине опорной части панели $b_{\text{оп}}=0,06$ м.

2. Проверка несущей способности панели

а) Проверка прочности продольных рёбер:

$$\sigma = \frac{M}{W_{\text{пр др}}} = \frac{14,55 \cdot 10^3}{1562} = 9,3 \text{ МПа} < R_u = 13 \text{ МПа},$$

где $R_u=13$ МПа – расчётное сопротивление древесины 2-го сорта при изгибе.

Прочность обеспечена.

б) Проверка устойчивости сжатой обшивки:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M}{W_{\text{пр ф}}} = \frac{14,55 \cdot 10^3}{2807} = 5,1 \text{ МПа} < \varphi_{\text{ф}} \cdot R_{\text{с.ф}} = \\ &= 0,535 \cdot 12 = 6,42 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

$$\text{где } \varphi_{\text{ф}} = 1 - \frac{\left(\frac{c}{\delta_{\text{ф}}}\right)^2}{5000} = 1 - \frac{\left(\frac{48,2}{1,0}\right)^2}{5000} = 0,535 - \text{ при } \frac{c}{\delta_{\text{ф}}} = 48,2 < 50.$$

Устойчивость обшивки обеспечена.

в) Проверка скалывающих напряжений в рёбрах:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{\text{пр}}^{\text{п.с}}}{I_{\text{пр}} \cdot \sum b_{\text{р}}} = \frac{9,8 \cdot 1370,6 \cdot 10}{19503 \cdot 4 \cdot 4,4} = 0,44 \text{ МПа} < R_{\text{ск}} = 1,6 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

г) Проверка скалывающих напряжений в клеевых швах, соединяющих обшивку и рёбра (фактически проверка прочности фанеры на скалывание между шпонами):

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{\text{пр}}^{\text{об}}}{I_{\text{пр}} \cdot \sum b_p} = \frac{9,8 \cdot 974,7 \cdot 10}{19503 \cdot 4 \cdot 4,4} = 0,33 \text{ МПа} < R_{\text{ск}}^{\text{ф}} = 0,65 \text{ МПа},$$

где $R_{\text{ск}}^{\text{ф}} = 0,65 \text{ МПа}$ – расчётное сопротивление фанеры скалыванию между шпонами.

Прочность обеспечена.

3. Проверка прогибов

Проверку производят по формуле (27):

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot q^{\text{н}} \cdot l^3}{384 \cdot E_{\text{др}} \cdot I_{\text{пр}} \cdot 0,7} = \frac{5 \cdot 2,4 \cdot 5,94^3 \cdot 10^5}{384 \cdot 10^4 \cdot 19503 \cdot 0,7} = \frac{1}{247} \approx \left[\frac{1}{250} \right].$$

Несущая способность и жёсткость панели обеспечены. Несмотря на сравнительно большие коэффициенты запаса по прочности, сечение панели не следует уменьшать, так как по прогибам панель находится в предельном состоянии.

6.7. Проектирование ребристой панели

В качестве примера проектирования принята конструкция ребристых панелей перекрытия жилых домов, производство которых освоено на Пензенском комбинате полносборных домов. В основе изготовления панелей лежат непрерывные технологические линии на базе импортного оборудования шведской фирмы "Черс". Обшивки панелей выполняют из древесно-стружечных плит марки ПТ-З, толщиной 16 мм и длиной 5 м. Несущий каркас делают из сосновых досок.

Панели изготавливают длиной до 9,5 м, однако в примере ограничимся длиной панели, равной 5 м. Ширина панели принята (из условия максимальной сборности и ширины листов древесно-стружечных плит) равной 2,4 м.

6.7.1. Выбор конструкции и назначение основных размеров

Принимают трехслойную утепленную ребристую панель размером в плане 2400×5000 мм с опиранием на стены короткими сторонами. В качестве утеплителя используют минераловатные плиты ПМ с объемной массой $\gamma = 100 \text{ кг/м}^3$. Общую высоту панели назначают в пределах

$\left(\frac{1}{25} \dots \frac{1}{35}\right) \cdot l$, учитывая при этом стандартные размеры принятых материалов (досок и древесно-стружечных плит).

Принимают $h = h_p + \delta + \delta = 144 + 16 + 16 = 176$ мм, что составляет примерно $\frac{1}{28} \cdot l$.

Несущие ребра изготовлены из досок сечением 44×144 мм (или вчерне 50×150 мм). Количество ребер – 9 шт.

Другие размеры поперечного сечения панели показаны на рис.41.

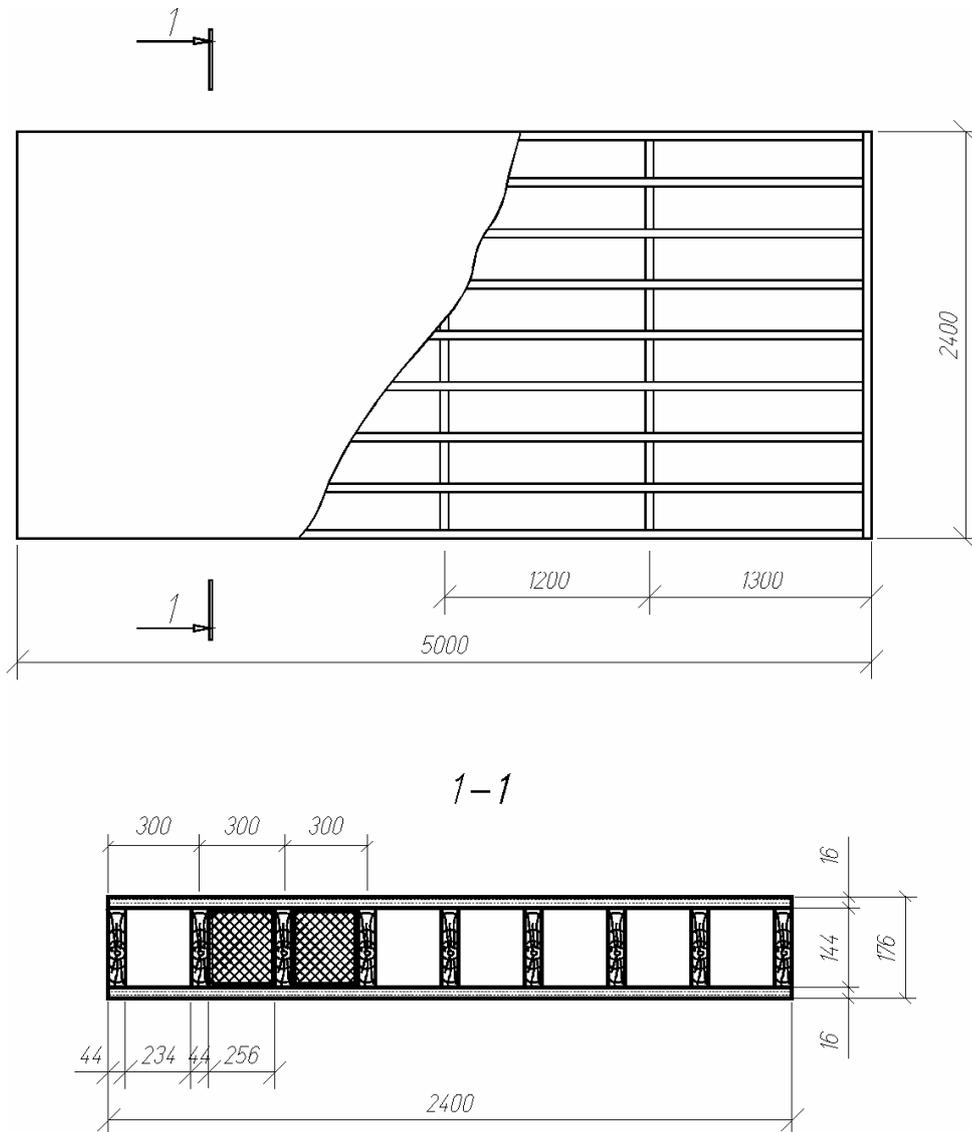


Рис. 41. Ребристая панель с обшивками из древесно-стружечных плит

6.7.2. Определение геометрических характеристик

При определении геометрических характеристик учитывают то, что модули упругости древесины и древесно-стружечной плиты различны. Отношение их модулей упругости

$$\eta = \frac{E_{др}}{E_{дсп}} = \frac{10^4}{10^3} = 10.$$

Для подсчета по формуле (14) приведенной ширины обшивки определяют значение коэффициента k . По графику рис. 25 при $\frac{l}{c} = \frac{5000}{300} = 17$ находят, что $k=1$. Следовательно, приведенная ширина панели равна фактической, то есть $b_{пр} = b = 2400$ мм. Сечение панели симметрично, поэтому нейтральная ось проходит посередине сечения. Геометрические характеристики сечения равны:

$$\begin{aligned} I_{пр} &= I_{об} + \eta \cdot I_{др} = \frac{b_{пр} \cdot (h^3 - h_p^3)}{12} + \eta \cdot n \cdot \frac{b_p \cdot h_p^3}{12} = \\ &= \frac{240 \cdot (17,6^3 - 14,4^3)}{12} + 10 \cdot 9 \cdot \frac{4,4 \cdot 14,4^3}{10} = 49315 + 98538 = 147853 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

$$W_{пр} = \frac{2 \cdot I_{пр}}{h} = \frac{2 \cdot 147853}{17,6} = 16801 \text{ см}^3;$$

$$S_{пр}^{об} = b \cdot \delta \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{\delta}{2} \right) = 240 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{17,6}{2} - \frac{1,6}{2} \right) = 3072 \text{ см}^3;$$

$$S_{пр}^{п.с.} = S_{пр}^{об} + \eta \cdot S_{др} = 3072 + 10 \cdot 9 \cdot \frac{4,4 \cdot 14,4^2}{8} = 13336 \text{ см}^3$$

(геометрические характеристики приведены к материалу обшивок).

6.7.3. Подсчёт нагрузок

Постоянные и временные нагрузки, действующие на панель в системе жилого дома, приведены в табл. 31. Постоянные нагрузки подсчитывались по фактическому весу каждого элемента панели, исходя из их объема и плотности материала, из которого они сделаны. Полезная нагрузка принята согласно СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия".

Т а б л и ц а 3 1

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м ²	γ_f	Расчётная нагрузка, кН/м ²
	Постоянные нагрузки			
1.	Вес панели (без утеплителя)	380	1,1	418
2.	Вес утеплителя (с пароизоляционным слоем)	150	1,2	180
3.	Гидроизоляция (толь на мастике)	50	1,3	65
4.	Чистый пол (линолеум)	50	1,3	65
5.	Временная Полезная нагрузка	1500	1,3	1,95
	Итого:	2130		2830

Погонные нагрузки, действующие на панель:

- нормативная $q^H = q_0^H \cdot b = 2130 \cdot 2,4 = 5110$ Н/м;
- расчетная $q = q_0 \cdot b = 2830 \cdot 2,4 = 6790$ Н/м.

Определение расчетных усилий

Панель работает как свободнолежащая балка на двух опорах, поэтому максимальный изгибающий момент и поперечная сила будут равны:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{6790 \cdot 4,90^2}{8} = 20800 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{6790 \cdot 4,90}{2} = 16800 \text{ Н}.$$

За расчетный пролет принята величина

$$l = l_1 - b_{\text{оп}} = 5,00 - 0,10 = 4,9 \text{ м},$$

где $b_{\text{оп}} = 10$ см – ширина опорной части панели.

Проверка несущей способности панели

а) Проверка прочности сжатой обшивки производится по формуле

$$\sigma_c = \frac{M}{k_1 \cdot W_{\text{пр}}} = \frac{19,289 \cdot 10^3}{1 \cdot 16801} = 1,15 \text{ МПа} < R_c = 3,0 \text{ МПа};$$

б) проверка прочности растянутой обшивки выполняется по формуле

$$\sigma_c = \frac{M}{k_1 \cdot W_{\text{пр}}} = 1,15 \text{ МПа} < R_p = 2,0 \text{ МПа},$$

где $k_1 = 0,97 + 0,24 \cdot 4,5 \cdot \frac{10^5}{8,85 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 240} = 1,0$, определяется по формуле (20);

в) проверка устойчивости сжатой обшивки:

$$\sigma_c = 1,15 \text{ МПа} < \sigma_{кр} = 8,3 \text{ МПа},$$

$$\text{где } \sigma_{кр} = k_{кр} \cdot E_{обр} \left(\frac{\delta}{c} \right)^2 = 3,3 \cdot \frac{10^3}{1-0,21^2} \cdot \left(\frac{1,6}{30} \right)^2 = 8,3 \text{ МПа};$$

г) проверка прочности ребер:

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{M}{I_{пр}} \cdot \frac{h_p}{2} \cdot \frac{E_{др}}{E_{об}} = \frac{19,289 \cdot 10^5}{147853} \cdot \frac{0,144}{2} \cdot 10 = \\ &= 9,4 \text{ МПа} < R_u = 13 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

д) проверка скалывающих напряжений в ребрах производится по формуле (24):

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{пр}^{н.с}}{I_{пр} \cdot \sum b_p} = \frac{15,746 \cdot 13336 \cdot 10}{147853 \cdot 9 \cdot 4,4} = 0,36 \text{ МПа} < R_{ск} = 1,6 \text{ МПа};$$

е) проверку скалывающих напряжений в клеевых швах выполняют по формуле (25):

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{пр}^{об}}{I_{пр} \cdot \sum b_p} = \frac{15,746 \cdot 3072 \cdot 10}{147853 \cdot 9 \cdot 4,4} = 0,083 \text{ МПа} < R_p = 1,5 \text{ МПа}.$$

Проверка прогибов

Проверку производят по формуле (27):

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \cdot q^n \cdot l^3}{384 \cdot E_{об} \cdot I_{пр}} = \frac{5 \cdot 5,11 \cdot 4,9^2 \cdot 10^5}{384 \cdot 10^3 \cdot 147853} = \frac{1}{190} \approx \frac{1}{200}.$$

Максимальный прогиб панели незначительно превышает предельно допустимую величину. Однако сечение панели можно оставить без изменения ввиду значительного запаса прочности всех ее элементов.

Проверку прочности верхней обшивки на местную нагрузку производят по формуле, приведенной в разделе 5.3.1. Принятый шаг ребер $c=0,3 \text{ м} < [c] = 1,33 \cdot \delta^2 \cdot R_u = 1,33 \cdot 0,016^2 \cdot 4 \cdot 10^3 = 1,36 \text{ м}$, следовательно, прочность обшивки при местной нагрузке $P = 1,2 \text{ кН}$ обеспечена.

6.8. Проектирование светопропускающей панели

Требуется запроектировать светопропускающую панель покрытия сельскохозяйственного производственного здания. Размер панели в плане 3000x1000 мм. Верхняя обшивка панели выполняется из волнистого листа светопропускаемого полиэфирного стеклопластика толщиной 1,5 мм, а нижняя – из плоского листа такого же стекло-

пластика. По контуру панель обрамляется деревянным каркасом из антисептированных сосновых брусков. Такие же бруски ставятся по длине панели в качестве поперечин, разбивая панель на три участка, близких к квадрату. Обрамление и поперечины приклеиваются к обшивкам с помощью клея. В целях повышения огнестойкости клеевых швов по длине их ставятся шурупы с шагом 200 мм. Общий вид панели показан на рис. 42.

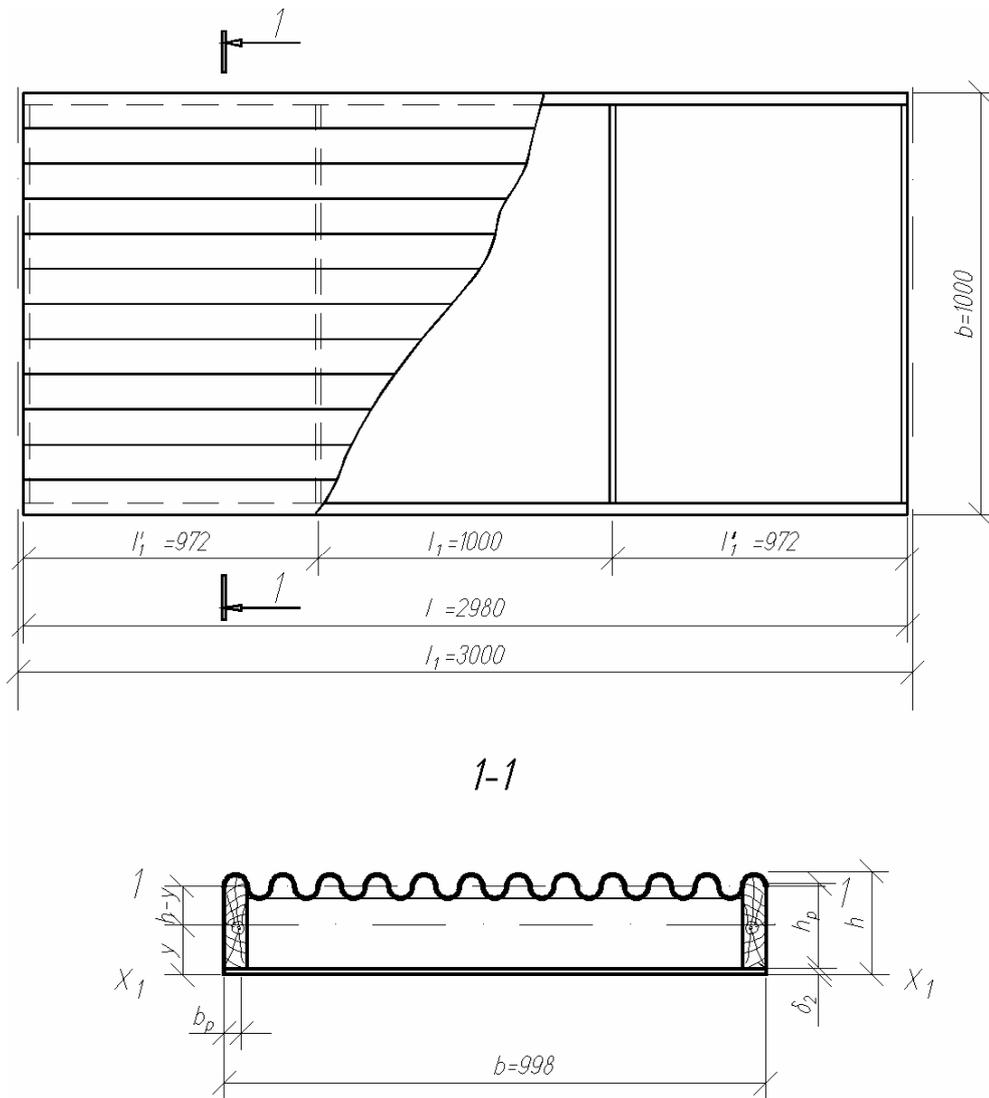


Рис. 42. Светопроницаемая панель покрытия

6.8.1. Назначение основных размеров панели

Высоту сечения панели назначают в пределах

$$h = \frac{1}{30} \cdot l = \frac{3000}{30} = 100 \text{ мм.}$$

Принимают $h_p = 94$ мм (из доски 40×100 мм). Тогда высота панели

$$h = \delta_1 + \delta_2 + h_p = 1,5 + 1,5 + 94 = 97 \text{ мм.}$$

Толщина обрамляющих элементов с учетом строжки получается равной 36 мм ($> \frac{h_p}{4} = 24$ мм).

Для назначения шага поперечин произведем расчет верхней обшивки на местные нагрузки, предварительно задавшись размером $l_1=1$ м.

Верхняя обшивка из волнистых листов представляет собой трехпролётную неразрезную балку. Максимальный изгибающий момент

$$M = \frac{q \cdot l^2}{10} = \frac{840 \cdot 1^2}{10} = 84 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $q = p_{\text{сн}} + g_{\text{с.в}} = 800 + 1,1 \cdot 30 \approx 840$ Н/м (1-й снеговой район).

Определяют требуемый момент сопротивления

$$W_{\text{тр}} = \frac{M}{m \cdot R_u} = \frac{0,000084}{0,75 \cdot 15} = 0,00000747 \text{ м}^3 / \text{пог.м} = 7,47 \text{ см}^3 / \text{пог.м},$$

где $m = 0,75$ – коэффициент условия работы полиэфирного стеклопластика, эксплуатирующегося в атмосферных условиях средней полосы нашей страны.

По требуемому моменту сопротивления подбираем по табл. 5 профиль волнистого листа. Принимаем листы 90×30 толщиной 1,5 мм ($W = 1,07 \cdot \frac{1000}{90} = 11,9 \text{ см}^3 > W_{\text{тр}} = 7,47 \text{ см}^3$).

Проверяем прочность принятого листа на срез по формуле

$$\tau = \frac{0,75 \cdot Q \cdot \sin \alpha}{n \cdot h_b \cdot \delta} = \frac{0,75 \cdot 0,00042 \cdot 0,723}{11 \cdot 0,003 \cdot 0,0015} = 0,46 \text{ МПа} < R_{\text{ср}} = 9 \text{ МПа},$$

где $Q=420$ Н – поперечная сила в трёхпролётной балке;

$$\alpha=46^\circ \text{ – определяется через } \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{\pi \cdot h_b}{l_b};$$

$n=11$ – количество волн.

Местная устойчивость волнистых листов должна удовлетворять условию

$$\begin{aligned} \frac{M}{W} &= \frac{0,000084}{0,0000119} = 7,06 \text{ МПа} < \frac{1,92 \cdot E \cdot \delta \cdot h_b}{4 \cdot h_b^2 + l_b^2} = \\ &= \frac{1,92 \cdot 3000 \cdot 0,0015 \cdot 0,03}{4 \cdot 0,03^2 + 0,09} = 22,15 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Прогиб листа, определяемый как для трёхпролётной балки, равен:

$$f = 0,00675 \cdot \frac{q^H \cdot l_1^4}{m \cdot E \cdot I_b \cdot n} = \frac{0,00675 \cdot 0,000590 \cdot 1,0^4}{0,75 \cdot 3000 \cdot 1,69 \cdot 10^8 \cdot 11} = 0,0085 \text{ м},$$

где $q^H = p_{\text{сн}}^H + g_{\text{с.в}}^H = 560 + 30 = 590$ Н.

Проверка прогиба:

$$\frac{f}{l_1} = \frac{0,0085}{1,0} = \frac{1}{117} < \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{75}.$$

Прочность, устойчивость и жёсткость листа при местном изгибе с пролётом $l_1 = 1$ м обеспечены.

Производим расчёт прочности волнистого листа на местную нагрузку $P=1200$ Н (120 кгс). Монтажный груз создаёт максимальный изгибающий момент в трёхпролётной балке, равный:

$$M = 0,175 \cdot P \cdot l = 0,175 \cdot 1200 \cdot 1,0 = 210 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проверка прочности:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0,00021}{0,0000119} = 17,6 \text{ МПа} < m \cdot R_u = 1,2 \cdot 15 = 18 \text{ МПа},$$

где $m=1,2$ – коэффициент условия работы, учитывает кратковременный характер действия монтажной нагрузки.

Прогиб листа на действие монтажной нагрузки не проверяется.

Наличие клеевых швов, соединяющих продольные рёбра и обшивки, позволяет рассматривать всё сечение панели как единое целое, поэтому геометрические характеристики подсчитывают в предположении монолитности всего сечения, изображённого на рис.42.

6.8.2. Определение геометрических характеристик панели

Исходные данные для их определения:

$$\eta_c = \frac{E_{в.о}}{E_{н.об}} = \frac{0,75 \cdot 3000}{3000} = 0,75; \quad \eta_p = \frac{E_p}{E_{н.об}} = \frac{10^4}{3000} = 3,33,$$

где 0,75 – коэффициент условия работы верхней обшивки.

Приведённая (к материалу нижней обшивки) площадь сечения

$$\begin{aligned} A_{пр} &= A_{н.об} + \eta_c \cdot A_{в.об} + \eta_p \cdot A_p = \delta \cdot b_{пр} + \eta_c \cdot A_v \cdot n + \eta_p \cdot b_p \cdot 2 \cdot h_p = \\ &= 0,15 \cdot 70 + 0,75 \cdot 0,7 \cdot 1,74 \cdot 11,1 + 3,33 \cdot 2 \cdot 3,6 \cdot 9,4 = 246,0 \text{ см}^2, \end{aligned}$$

где $b_{пр} = k \cdot b = 0,7 \cdot 100 = 70$ см – приведённая ширина обшивки, подсчитывается с учётом коэффициента $k=0,7$ (по графику на рис. 25 при $\frac{l}{c} = 3$), с этим же коэффициентом принимается и приведённая площадь верхней обшивки:

$$A'_{в.об} = k \cdot A_{в.об} = 0,7 \cdot 1,74 \cdot 11,0 = 13,5 \text{ см}^2.$$

Для нахождения положения нейтральной линии определим приведённый статический момент сечения относительно произвольной оси x_1 :

$$\begin{aligned} S_{\text{пр.}x_1} &= S'_{\text{н.об}} + \eta_c S_{\text{в.об.}} + \eta_p S_p = \\ &= b_{\text{пр}} \delta_2 \frac{\delta_2}{2} + \eta_c A'_{\text{в.об}} \frac{2h - h_{\text{в}}}{2} + \eta_p 2b_p h_p \left(\delta_2 + \frac{h_p}{2} \right) = \\ &= 70 \cdot \frac{0,15^2}{2} + 0,75 \cdot 13,5 \cdot \left(9,7 - \frac{3,0}{2} \right) + 3,33 \cdot 2 \cdot 3,6 \cdot 9,4 \cdot \left(0,15 + \frac{9,4}{2} \right) = \\ &= 1178,5 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

Расстояние от оси x_1 до нейтральной линии

$$y = \frac{S_{\text{пр.}x_1}}{A_{\text{пр}}} = \frac{1178,5}{246} = 4,79 \text{ см.}$$

Приведённый момент инерции сечения относительно нейтральной линии

$$\begin{aligned} I_{\text{пр.}x} &= I_{\text{н.об}} + \eta_c \cdot I_{\text{в.об}} + \eta_p \cdot I_p = \delta_2 \cdot b_{\text{пр}} \cdot \left(y - \frac{\delta_2}{2} \right)^2 + \\ &+ \eta_c \left[I_{\text{в}} k + A'_{\text{в.об}} \cdot \left(h - y - \frac{h_{\text{в}}}{2} \right)^2 \right] + \eta_p \left[2 \cdot \frac{b_p \cdot h_p^3}{12} + 2b_p h_p \left(\frac{h_p}{2} + \delta_2 - y \right)^2 \right] = \\ &= 0,15 \cdot 70 \cdot \left(4,79 - \frac{0,15}{2} \right)^2 + 0,75 \cdot \left[0,7 \cdot 1,69 \cdot 11 + 13,5 \cdot \left(9,7 - 4,79 - \frac{3,0}{2} \right)^2 \right] + \\ &+ 3,33 \cdot \left[2 \cdot \frac{3,6 \cdot 9,4^3}{12} + 2 \cdot 3,6 \cdot 9,4 \cdot \left(\frac{9,4}{2} + 0,15 - 4,79 \right)^2 \right] = 2020,8 \text{ см}^4. \end{aligned}$$

Приведённый момент сопротивления нижней обшивки

$$W_{\text{пр}}^{\text{об}} = \frac{I_{\text{пр.}x}}{y} = \frac{2020,8}{4,79} = 421,9 \text{ см}^3.$$

Приведённый момент сопротивления верхней обшивки

$$W_{\text{пр}}^{\text{в.об}} = \frac{I_{\text{пр.}x}}{h - y} \cdot \frac{1}{\eta_c} = \frac{2020,8}{(9,7 - 4,79)} \cdot \frac{1}{0,75} = 548,75 \text{ см}^3.$$

Приведённый статический момент верхней обшивки

$$S_{\text{пр}}^{\text{в.об}} = A_{\text{в.об}} \left(h - y - \frac{h_{\text{в}}}{2} \right) \eta_c = 1,74 \cdot 11 \cdot \left(9,7 - 4,79 - \frac{3,0}{2} \right) \cdot 0,75 = 49 \text{ см}^3.$$

Приведённый статический момент нижней обшивки

$$S_{\text{пр}}^{\text{н.об}} = A_{\text{н.об}} \cdot \left(y - \frac{\delta_2}{2} \right) = 0,15 \cdot 100 \cdot \left(4,79 - \frac{0,15}{2} \right) = 70,7 \text{ см}^3.$$

Приведённый статический момент полусечения относительно нейтральной линии

$$S_{\text{пр}}^{\text{п.с}} = S_{\text{пр}}^{\text{н.об}} + \eta_p \cdot b_p \cdot y \cdot \frac{y}{2} = 70,7 + 3,33 \cdot 3,64 \cdot 4,79 \cdot \frac{4,79}{2} = 208,2 \text{ см}^3.$$

6.8.3. Подсчёт нагрузок

Подсчёт нагрузок производим по форме табл. 32.

Т а б л и ц а 3 2

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, Н/м ²	γ_f	Расчётная нагрузка, Н/м ²
1.	Обшивки	45	1,1	50
2.	Каркас $\frac{0,094 \cdot 0,036 \cdot 10}{1 \cdot 3} \cdot 500 = 5,64 \text{ кг/м}^2$	60	1,1	66
3.	Снег	560		800

Погонные нагрузки:

нормативная $q^{\text{н}} = 665 \cdot 1 = 665 \text{ Н/м}$;

расчётная $q = 916 \cdot 1 = 916 \text{ Н/м}$.

Определение расчётных усилий

Максимальный изгибающий момент M и поперечная сила Q в панели равны:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{916 \cdot 2,92^2}{8} = 976,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{916 \cdot 2,92}{2} = 1337 \text{ Н},$$

где $l = 2,98 - b_{\text{оп}} = 2,98 - 0,06 = 2,92 \text{ м}$ –

расчётный пролёт при ширине опорной части $b_{\text{оп}} = 6 \text{ см}$.

Проверка несущей способности панели.

а) Проверка прочности нижней растянутой обшивки:

$$\sigma_p = \frac{M}{k_1 \cdot W_{np}^{н.об}} = \frac{0,0009763}{1,0 \cdot 0,0004219} = 2,34 \text{ МПа} < R_p = 15 \text{ МПа},$$

где коэффициент k_1 , подсчитываемый по формуле (20),

$$k_1 = 0,83 + 0,24 \cdot 1,0 \cdot \frac{10^4 \cdot 0,036 \cdot 0,094}{3,07 \cdot 10^3 \cdot 0,0015 \cdot 1,0} = 1,0;$$

б) проверка прочности верхней сжатой обшивки:

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{M}{k_1 \cdot W_{np}^{в.об}} = \frac{0,0009763}{1,0 \cdot 0,0005487} = 1,78 \text{ МПа} < m \cdot R_c = \\ &= 0,75 \cdot 15 = 11,25 \text{ МПа}; \end{aligned}$$

в) проверка прочности рёбер (вблизи растянутой обшивки, так как $\sigma_p > \sigma_c$):

$$\sigma_{реб} = \sigma_p \cdot \eta_p = 2,34 \cdot 3,3 = 7,72 \text{ МПа} < R_u = 14 \text{ МПа}$$

(для древесины сосны 1-го сорта);

г) проверка прочности клеевых швов, соединяющих нижнюю обшивку и рёбра:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{np}^{н.об}}{I_{np} \cdot 2 \cdot b_p} = \frac{0,001337 \cdot 0,0000707}{0,0020208 \cdot 2 \cdot 0,036} = 0,07 \text{ МПа} < R_{ск} = 1,5 \text{ МПа};$$

д) проверка прочности рёбер на скалывание:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{np}^{н.об}}{I_{np} \cdot 2 \cdot b_p} = \frac{0,001337 \cdot 0,0002082}{0,0020208 \cdot 2 \cdot 0,036} = 0,20 \text{ МПа} < R_{ск} = 1,6 \text{ МПа}.$$

Проверка прогибов панели

Проверку прогибов панели производим по формуле

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^n \cdot l^3}{E \cdot I_{np}} = \frac{5 \cdot 0,000665 \cdot 2,92^3}{384 \cdot 3000 \cdot 0,0020208} = \frac{1}{280} < \frac{1}{150}.$$

Прочность и жёсткость панели обеспечены.

6.9. Проектирование панели со сплошным срединным слоем

Требуется запроектировать утеплённую панель покрытия производственного здания. Панели укладываются непосредственно на несущие конструкции, устанавливаемые с шагом 6 м. В целях максимальной сборности принимаем размеры панели в плане 3000×6000 мм. Обшивки панели приняты из стеклопластика КАСТ-В толщиной 2 мм. Средний слой – из полихлорвинилового пенопласта марки ПХВ-1 с объёмной массой 100 кг/м³. Обрамляющие элементы панели выполнены из гнутых фанерных профилей швеллерного типа.

6.9.1. Выбор конструкции и назначение основных размеров

Поперечное сечение панели и основные его размеры показаны на рис. 43.

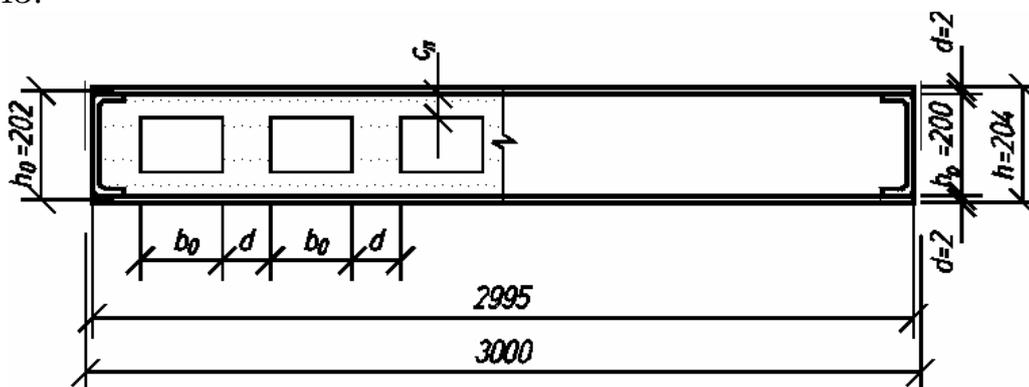


Рис. 43

Общую высоту панели назначаем в пределах $\left(\frac{1}{25} - \frac{1}{35}\right)l$ с учётом стандартного размера высоты обрамляющего элемента (швеллера) и с соблюдением условия, что $h = h_p + 2 \cdot \delta$. Принимаем $h = 200 + 2 \cdot 2 = 204$ мм, что составляет примерно $\frac{1}{30}l$. Расстояние между осями обшивок $h_0 = h - \delta = 204 - 2 = 202$ мм.

В целях экономии материала срединного слоя (при $h_p > 80$ мм) внутри него выполняются пустоты, располагаемые вдоль длины панели. Ширину пустот принимаем $b_0 = 200$ мм (< 250 мм).

Размер $c_{п}$ принимается в пределах $20 \text{ мм} \leq c_{п} \leq 0,17 \cdot b_0$, назначаем $c_{п} = 35$ мм.

Толщина пенопласта d между пустотами принята равной 45 мм, что даёт возможность равномерно расположить пустоты по ширине панели

и отвечает требованиям, отмеченным в п. 5.3.3, то есть больше 40 мм и более $[d]$:

$$[d] = \frac{P}{2 \cdot (\delta + c_{\text{II}}) \cdot R_c^{\text{кр}}} = \frac{0,00120}{2 \cdot (0,002 + 0,035) \cdot 0,52} = 0,032 \text{ м} = 3,2 \text{ см}.$$

6.9.2. Определение геометрических характеристик

Прежде чем определить геометрические характеристики, проверим, к какому типу относится панель. Для этого проверим условия:

$$\frac{h_p}{\delta} = \frac{200}{2} = 100 \quad [4 < 100 < 200];$$

$$\frac{l}{h_0} = \frac{6000}{202} = 30 > 10;$$

$$\frac{E_{\text{пр}}^{\text{об}}}{G} = \frac{19440,0}{11,0} = 1767 < 10000,$$

где $E_{\text{пр}}^{\text{об}} = \frac{E_{\text{об}}}{1 - \mu^2} = \frac{19000,0}{1 - 0,15^2} = 19440,0 \text{ МПа}.$

Условия выполняются, следовательно, панель относится к четвёртому типу (согласно классификации [1]), то есть к панелям со сплошным срединным слоем. Для таких панелей обрамляющие рёбра, расположенные по контуру, в работе не учитываются. Геометрические характеристики подсчитывают без учёта срединного слоя для расчётной полосы, равного 1 м. Принимая во внимание симметричность сечения, для подсчёта воспользуемся формулами, приведёнными в п. 5.4.2:

$$I = \frac{100 \cdot \delta \cdot h_0^2}{2} = \frac{100 \cdot 0,2 \cdot 20,2^2}{2} = 4080 \text{ см}^4;$$

$$W = \frac{100 \cdot \delta \cdot h_0}{h} = \frac{100 \cdot 0,2 \cdot 20,2}{20,4} = 400 \text{ см}^3;$$

$$S = 100 \cdot \delta \cdot \frac{h_0}{2} = 202 \text{ см}^3.$$

6.9.3. Подсчёт нагрузок

Нагрузки подсчитаны по форме табл. 33.

Т а б л и ц а 33

№ п/п	Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м ²	γ_f	Расчётная нагрузка, кН/м ²
	Постоянные нагрузки			
1.	Обшивки	64	1,1	70,3
2.	Обрамление	26	1,1	28,5
3.	Утеплитель (с учётом пустот)	100	1,2	120
	Итого:	190		219
	Временная			
4.	Снег (III район)	1260		1800
	Всего:	1450		2019

Погонные нагрузки (для условно вырезанной полосы шириной 1 м) равны:

$$\text{нормативная } q^H = 1450 \cdot 1 = 1450 \text{ Н/м};$$

$$\text{расчётная } q = 2019 \cdot 1 = 2019 \text{ Н/м}.$$

Определение расчётных усилий

Панель опирается короткими сторонами на несущие конструкции и работает на изгиб. Однако проверим, не относится ли она к гибким пластинам, используя выражения:

$$\left(\frac{l}{h_0}\right)^2 = \left(\frac{6000}{202}\right)^2 = 882,3;$$

$$8 \cdot \frac{G}{q} \cdot \sqrt[3]{\frac{\delta}{h_0}} = 8 \cdot \frac{11,0}{0,0018^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{0,2}{20,2}} = 10444.$$

Поскольку $882,3 < 10444$, следовательно, панель не относится к гибким пластинам. Рассчитываем панель как свободнолежащую балку на двух опорах с расчётным пролётом $l = l_1 - b_{\text{от}} = 6,0 - 0,06 = 5,94$ м.

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{0,002019 \cdot 5,94^2}{8} = 0,008904 \text{ мН} \cdot \text{м};$$

$$Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{0,002019 \cdot 5,94}{2} = 0,005996 \text{ мН}.$$

Проверка несущей способности панели

Прежде чем производить необходимые проверки, рекомендуемые в п.5.4.2, определим нормальные и касательные напряжения в элементах панели по формулам:

$$\sigma_0 = \frac{M}{W} = \frac{0,008904}{0,000400} = 22,26 \text{ МПа};$$

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{I \cdot 1} = \frac{Q}{h_0} = \frac{0,005996}{,202} = 0,0297 \text{ МПа};$$

а) проверка прочности растянутой обшивки:

$$\sigma_{p.ob} = \frac{\sigma_0}{k_1} = \frac{22,26}{1} = 22,26 \text{ МПа} < R_p \cdot m = 110,0 \cdot 0,8 = 88,0 \text{ МПа};$$

б) проверку прочности сжатой обшивки производят по формуле (30):

$$\sigma_{c.ob} = \frac{\sigma_0}{\kappa_1} = 22,26 < \bar{\sigma}_c = 28,1 \text{ МПа};$$

где $\bar{\sigma}_c = \frac{R_c}{1 + 6 \cdot \frac{\tau \omega}{\delta}} = \frac{45}{1 + 6 \cdot \frac{0,02}{0,2}} = 28,1 \text{ МПа};$

в) проверка прочности срединного слоя – по формулам (31):
по нормальным напряжениям

$$\sigma_{II} = \frac{20}{19440} \cdot \frac{20,2 - 0,2}{20,2 + 0,2} \cdot 22,26 = 0,0224 \text{ МПа} < R_c = 0,15 \text{ МПа};$$

по касательным напряжениям

$$\tau = 0,0297 \text{ МПа} < R_{cp} = 0,15 \text{ МПа};$$

по эквивалентным напряжениям

$$\sigma_{\text{э}} = \sqrt{\sigma_{II}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{0,0224^2 + 4 \cdot 0,0297^2} = 0,063 \text{ МПа} < R_c = 0,15 \text{ МПа}.$$

Проверка прогибов панели

Изгибная жёсткость панели с учётом податливости срединного слоя равна:

$$D = \frac{1}{k} \cdot E_{np}^{ob} \cdot I = \frac{1}{1,097} \cdot 19440 \cdot 0,0000408 = 0,723 \text{ мН} \cdot \text{м}^2,$$

где $k = 1 + 9,6 \cdot \frac{E_{np}^0 \cdot I}{G \cdot h_0 \cdot l^2} = 1 + 9,6 \cdot \frac{19440 \cdot 0,0000408}{11 \cdot 0,202 \cdot 5,94^2} = 1,097.$

Проверяем прогиб панели по формуле

$$\frac{f}{l} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^H \cdot l^3}{D} = \frac{5 \cdot 0,00145 \cdot 5,94^3}{384 \cdot 0,723} = \frac{1}{227} \approx \frac{1}{250}.$$

Несколько большую величину прогиба по сравнению с предельной величиной можно допустить ввиду значительного запаса прочности всех элементов панели.

Расчёт на местные нагрузки

В качестве местной нагрузки принимаем монтажный груз $P^H = 1000$ Н с коэффициентом надёжности $\gamma_f = 1,2$. Интенсивность действия местной нагрузки

$$p_M = \frac{P}{A_M} = \frac{1,2 \cdot 1000}{0,10 \cdot 0,10} = 120000 \text{ Н/м}^2.$$

Радиус приведённого круга

$$r = 0,565 \cdot \sqrt{A_M} = 0,565 \cdot \sqrt{100} = 5,65 \text{ см.}$$

Значения коэффициентов $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ по рис. 37 при характеристике

$$\frac{r}{\delta} \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot \delta}{E_{np}^{об} \cdot h_0}} = \frac{5,65}{0,2} \cdot \sqrt[4]{\frac{20,0 \cdot 0,2}{19440 \cdot 20,2}} = 1,592$$

равны: $\Theta_1 = 0,08$; $\Theta_2 = 0,25$; $\Theta_3 = 1,15$.

По формулам (33), (34), (35) проверяем прочность:

а) по нормальным напряжениям в обшивке

$$\sigma = 0,08 \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{5,65}{0,2} \right)^2 = 7,66 \text{ МПа} < R_u \cdot 1,2 = 15 \cdot 1,2 = 18 \text{ МПа};$$

б) по касательным напряжениям в обшивке

$$\tau = 0,25 \cdot 0,12 \cdot \frac{5,65}{0,2} = 0,85 \text{ МПа} < R_{cp} \cdot 1,2 = 9 \cdot 1,2 = 10,8 \text{ МПа};$$

в) по нормальным сжимающим напряжениям в среднем слое

$$\sigma = 1,15 \cdot 0,12 = 0,138 \text{ МПа} < R_c \cdot 1,2 = 0,18 \text{ МПа.}$$

Прочность обшивок и среднего слоя обеспечена.

6.10. Проектирование трехслойной панели типа «Венталл»

Требуется запроектировать утепленную трехслойную панель покрытия типа «Венталл-К»-3 с несгораемым утеплителем из минеральной ваты для здания спортивного назначения пролетом 24 м и уклоном кровли $\alpha = 19^\circ$, ($\sin\alpha = 0,325$; $\cos\alpha = 0,945$). Район строительства –

г. Пенза. В целях максимальной сборности и сокращения количества стыков в покрытии панели укладываются вдоль ската, принимая длину их, равной длине ската (с учетом карнизного свеса и конькового решения, а ширину равной стандартной ширине профилированного стального листа. Размеры панели в плане, исходя из этих соображений, приняты 1000×12000 мм.

Верхняя обшивка принята из стального листа с трапециевидными выступами, а нижняя – из стального мелкопрофильного листа. Толщина листов – 0,6 мм. Средний слой выполнен из минераловатных плит. Приняты полужесткие плиты из базальтового волокна с поперечным расположением волокон типа AKL фирма «PAROK», плотностью 120 кг/м³.

Совместная работа всех слоев в сэндвич-панели обеспечивается их склеиванием между собой с использованием двухкомпонентной полиуретановой композиции производства голландской фирмы «Huntsman Polyurethanes».

Панели укладываются на прогоны, поставленные на несущие конструкции каркаса здания с шагом 4 м (в горизонтальной проекции).

6.10.1. Выбор конструкции и назначение основных размеров

Конструкцию панели принимаем по типу «Венталл-К»-3, рекомендуемую в качестве кровельной. Согласно требованиям необходимой минимальной толщины кровельных панелей из расчета среднего значения сопротивления теплопередаче (для г. Пензы) толщину панели принимаем 200 мм.

Основные размеры панели по ширине и размеры гофр стальных листов обшивок показаны на рис. 13.

Наружная стальная обшивка имеет пять высоких гофр, что значительно увеличивает жесткость панели. Нижняя обшивка имеет мелкие гофры, что повышает эстетические качества потолочной поверхности здания и не требует устройства специального потолка.

Стыковка нижней обшивки по продольным кромкам панели осуществляется посредством замков по принципу «шип-паз», а по верхней обшивке стыкование выполняется нахлестом двух смежных гофр (см. рис. 13).

Ввиду высокой точности изготовления и хорошей плотности стыковых соединений обрамляющие элементы по всему контуру панелей отсутствуют, а крепление панелей к прогонам производится с помощью самонарезающих винтов.

6.10.2. Определение геометрических характеристик

Геометрические характеристики поперечного сечения определяем как для панели со сплошным маложестким срединным слоем, т.е. без учета материала срединного слоя (минераловатной плиты). Для расчета взята ячейка длиной 250 мм, регулярно повторяющаяся (4 раза) по ширине панели. В первом приближении (в запас прочности) мелкие гофры учитывать не будем, т.к. учет их приведет к очень незначительным уточнениям (в большую сторону) величин площади и момента инерции расчетного сечения панели. Расчетное сечение панели показано на рис. 44.

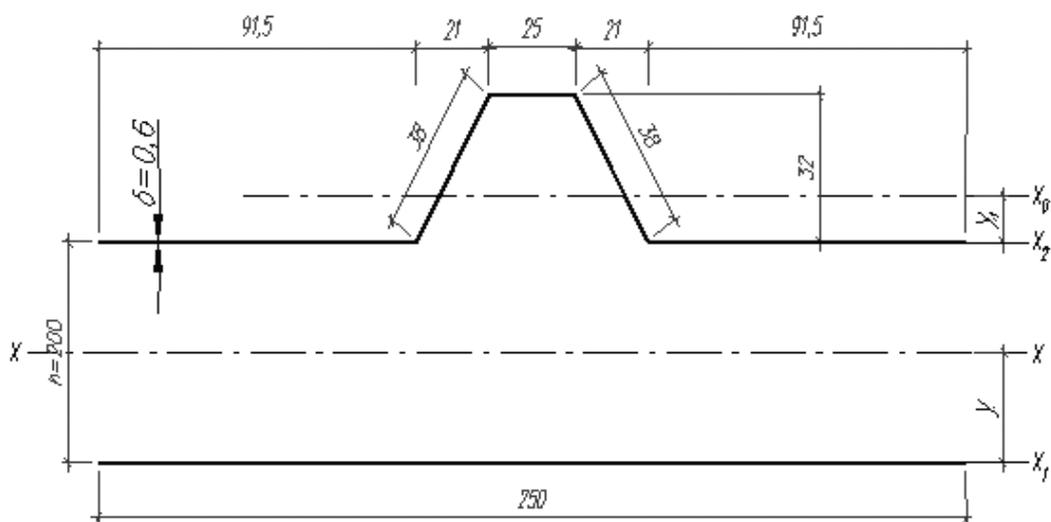


Рис. 44. Расчетное сечение панели

Определяем необходимые геометрические характеристики расчетного сечения.

Площадь поперечного сечения верхней обшивки

$$A_b = (2 \cdot 91,5 + 25) \cdot 0,6 + 2 \cdot 38 \cdot 0,6 = 195,6 \text{ мм}^2.$$

Площадь поперечного сечения нижней обшивки

$$A_n = 250 \cdot 0,6 = 150 \text{ мм}^2.$$

Найдем положение центральной оси x_0 верхней обшивки, для чего подсчитаем статический момент верхней обшивки относительно оси x_2 :

$$S_{x_2}^{b.o} = 2 \cdot 0,6 \cdot 38 \cdot 16 + 0,6 \cdot 25 \cdot 32 = 1209,6 \text{ мм}^3.$$

Положение оси x_0 находится на расстоянии

$$y_1 = \frac{S_{x_2}}{A_b} = \frac{1209,6}{195,6} = 6,2 \text{ мм}.$$

Момент инерции верхней обшивки относительно оси x_0 равен:

$$J_{x_0}^{B.O} = (91,5 \cdot 0,6 \cdot 6,2^2) \cdot 2 + 0,6 \cdot 25 \cdot (32 - 6,2)^2 + \\ + 0,6 \cdot 38 \cdot (16 - 6,2)^2 \cdot 2 = 18585 \text{ мм}^2.$$

Статический момент всего сечения относительно оси x_1 :

$$S_{x_1} = A_B \cdot (h + y_1) = 195,6 \cdot (200 + 6,2) = 40332,7 \text{ мм}^2.$$

Положение центральной оси всего сечения найдем по формуле

$$y = \frac{S'_{x_1}}{A_B + A_H} = \frac{40332,7}{195,6 + 150} = 116,7 \text{ мм} = 11,67 \text{ см}.$$

Момент инерции всего сечения относительно центральной оси x равен:

$$J_x = J_{x_0}^{B.O} + A_{B.O} \cdot (h + y_1 - y)^2 + A_{H.O} \cdot y^2 = \\ = 18585 + 195,6 \cdot (200 + 6,2 - 116,7)^2 + \\ + 150 \cdot 116,7^2 = 3628223 \text{ мм}^4 = 362,8 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления верхней обшивки

$$W_{B.O} = \frac{J_x}{(h - y + 3,2)} = \frac{362,8}{20 - 11,67 + 3,2} = 31,46 \text{ см}^3.$$

Момент сопротивления нижней обшивки

$$W_{H.O} = \frac{J_x}{y} = \frac{362,8}{11,67} = 31,08 \text{ см}^3.$$

Статический момент полусечения относительно оси x

$$S_x = A_{H.O} \cdot y = 1,50 \cdot 11,67 = 17,505 \text{ см}^3.$$

Все геометрические характеристики подсчитаны на ширину расчетного сечения, равного 250 мм. Фактически панель имеет ширину 1 м, которая включает в себя четыре таких расчетных сечения. Поэтому для всей панели эти характеристики будут равны:

$$J_x = 4 \cdot 362,8 = 1451,2 \text{ см}^4;$$

$$W_{B.O} = 4 \cdot 31,46 = 125,8 \text{ см}^3;$$

$$W_{H.O} = 4 \cdot 31,08 = 124,3 \text{ см}^3;$$

$$S_{п.с} = 4 \cdot 17,505 = 70 \text{ см}^3.$$

6.10.3. Подсчет нагрузок и определение расчетных усилий в панели

На панель действуют нагрузки от собственного веса и снегового покрова. Собственный вес панели типа «Венталл-К»-3 с минераловатным утеплителем плотностью 120 кг/м^2 при высоте панели 200 мм , согласно Техническому каталогу, равен $36,4 \text{ кг/м}^2$. Снеговая нагрузка для III района строительства составляет 180 кг/м^2 .

Расчетная погонная нагрузка на панель шириной 1 м равна:

$$q = \left(\frac{36,4 \cdot 1,1}{\cos \alpha} + 180 \right) \cdot 1 = 222 \text{ кг/п.м.} = 2,22 \text{ кН/м.}$$

Нормативная погонная нагрузка равна:

$$q^H = \left(\frac{36,4}{\cos \alpha} + 0,7 \cdot 180 \right) \cdot 1 = 164,5 \text{ кг/м} = 1,645 \text{ кН/м.}$$

Панель работает как трехпролетная балка с величиной пролета 4 м (расстояние между прогонами). Для 3-пролетной балки, загруженной равномерно распределенной нагрузкой, наибольший изгибающий момент находится в первом пролете и он равен:

$$M = 0,1ql^2 = 0,1 \cdot 2,22 \cdot 4^2 = 3,552 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Максимальная поперечная сила

$$Q = 0,6ql = 0,6 \cdot 2,22 \cdot 4 = 5,328 \text{ кН.}$$

6.10.4. Проверка несущей способности панели

Определим нормальные и касательные напряжения в элементах панели.

Максимальные сжимающие напряжения в верхней обшивке равны:

$$\sigma_c = \frac{M}{W_{B.O}} = \frac{3,552 \cdot 10^3}{125,8} = 28,24 \text{ МПа.}$$

Максимальные растягивающие напряжения в нижней обшивке

$$\sigma_p = \frac{M}{W_{H.O}} = \frac{3,552 \cdot 10^3}{124,3} = 28,58 \text{ МПа.}$$

Максимальные касательные напряжения в срединном слое

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{J \cdot b} = \frac{5,328 \cdot 70 \cdot 10^{-1}}{1451,2 \cdot 1} = 0,0257 \text{ МПа.}$$

Проверку прочности сжатой обшивки производим по формуле

$$\sigma_c \leq [\sigma_c],$$

где $[\sigma_c] = R_c \left[\sqrt{1 + 4 \left(\frac{\omega}{\delta} \right)^2} - 2 \frac{\omega}{\delta} \right] = 220 \left[\sqrt{1 + 4 \cdot 0,1^2} - 2 \cdot 0,1 \right] = 176 \text{ МПа}$ (отношение $\frac{\omega}{\delta}$ принято равным 0,1).

В нашем случае $\sigma_c = 28,24 \text{ МПа} < [\sigma_c] = 176 \text{ МПа}$, прочность обшивки обеспечена с запасом.

Прочность растянутой обшивки обеспечена также с запасом, т.к. $\sigma_p = 28,58 \text{ МПа} < R = 220 \text{ МПа}$.

Проверка прочности срединного слоя на срез:

$$\tau = 0,0257 \text{ МПа} < R_{cp} = 0,075 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

6.10.5. Проверка прогибов

Плита работает как 3-пролетная неразрезная балка. От действия постоянных нагрузок, действующих равномерно распределенно по всей длине панели, максимальный прогиб определяется как

$$f = 0,00675 \frac{g^H l^4}{EJ}.$$

От действия временной (снеговой) нагрузки максимальный прогиб будет, когда эта нагрузка будет действовать в среднем пролете. Этот прогиб равен:

$$f = 0,0675 \frac{P_{CH}^H l^4}{EJ}.$$

Суммарный максимальный прогиб панели будет равен:

$$\begin{aligned} f_{\max} &= \frac{l^4}{EJ} (0,00675g + 0,0675P_{CH}^H) = \\ &= \frac{400^4}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 1451,2} (0,00675 \cdot 0,385 + 0,0675 \cdot 1,26) = 0,736 \text{ см}; \end{aligned}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{0,736}{400} = \frac{1}{543} < \left[\frac{1}{200} \right], \text{ жесткость панели обеспечена.}$$

Полученные запасы по несущей способности и жесткости панели можно было бы уменьшить путем уменьшения высоты с 200 до 150 мм. Однако по теплотехническим соображениям принимаем плиту с высотой 200 мм. Уменьшение толщины плиты должно быть обосновано эксплуатационными или экономическими и иными требованиями.

6.11. Проектирование панели с соединениями обшивок и ребер на гвоздях или шурупах

Общие принципы проектирования таких панелей описаны в п.5.3.1. В данном примере рассмотрены частные случаи проектирования ребристой панели покрытия, когда обшивки и несущие ребра панелей выполнены из различных материалов и соединены между собой с помощью гвоздей или шурупов. В таких панелях обшивки и ребра работают независимо друг от друга, т.е. обшивки работают по схеме независимого настила, а несущие ребра – как свободнолежащие балки (прогоны), воспринимающие свою долю нагрузки.

Верхняя обшивка панели покрытия, являясь настилом, рассчитывается по схеме двухпролетной балки на местную нагрузку двух сочетаний:

- 1) собственный вес и снег (расчет на прочность и прогиб);
- 2) собственный вес и сосредоточенный груз $P^H = 1$ кН·с с коэффициентом надежности $\gamma_f = 1,2$ (расчет только на прочность).

Для расчета может быть выделена полоса в поперечном направлении панели, шириной $b = 1$ м. Пролет рассматриваемой балки будет определяться шагом расстановки продольных несущих ребер панели, поскольку они являются опорами для листов верхней обшивки.

Определим допустимый пролет обшивки, т.е. шаг несущих ребер панели. Он должен быть не более значений C , получаемых из следующих условий:

- 1) прочности на изгиб при первом сочетании нагрузок

$$M_{оп} = 0,125(g_{с.в} + p_{сн})C^2 \leq R_u \cdot \frac{\delta_{в.о}^2}{6},$$

откуда

$$C \leq \sqrt{\frac{R_u \cdot \delta_{в.о}^2}{0,75(g_{с.в} + p_{сн})}} = 1,155 \cdot \delta_{в.о} \sqrt{\frac{R_u}{(g_{с.в} + p_{сн})}}; \quad (36)$$

2) необходимой жесткости обшивки при действии нагрузки по первому сочетанию

$$\frac{f}{c} = \frac{2,13(g_{c.H}^H + p_{CH}^H) \cdot C^3}{384 \cdot E \frac{\delta_{B.O}^3}{12}} \leq \left[\frac{f}{l} \right]$$

при $\left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{200}$, откуда

$$\begin{aligned} C &\leq \sqrt[3]{\left[\frac{f}{l} \right] \frac{384 \cdot E \cdot \delta_{B.O}^3}{2,13(g_{c.H}^H + p_{CH}^H) \cdot 12}} = \sqrt[3]{\frac{0,075 \cdot E \cdot \delta_{B.O}^3}{(g_{c.H}^H + p_{CH}^H)}} = \\ &= 0,422 \cdot \delta_{B.O} \sqrt[3]{\frac{E}{(g_{c.H}^H + p_{CH}^H)}}; \end{aligned} \quad (37)$$

3) прочности от действия сосредоточенного груза $P^H = 1,0$ кН·с с коэффициентом $\gamma_f = 1,2$ на участок верхней обшивки, шириной $b_1 = 1$ м:

$$M = (0,07 \cdot g_{c.B} \cdot C^2 + 0,207 \cdot P^H \cdot \gamma_f \cdot C) \leq R_u \frac{\delta_{B.O}^2}{6} \cdot m_H,$$

где $m_H = 1,2$ – для монтажной нагрузки, откуда приближенно (без учета собственного веса) имеем:

$$C \leq \frac{R_u \cdot \delta_{B.O}^2 \cdot m_H}{6 \cdot 0,207 \cdot P^H \cdot \gamma_f} = 804 R_u \cdot \delta_{B.O}^2. \quad (38)$$

Как видно из всех формул (36)–(38), величина пролета C (расстояние между несущими продольными ребрами панели) зависит от толщины обшивки ($\delta_{B.O}$), поэтому величину C можно принять, лишь задавшись толщиной верхней обшивки.

В качестве верхней обшивки рассматриваемых панелей могут быть приняты следующие материалы: фанера, древесно-стружечные плиты, ЦСП, СМЛ, АЦЛ и др. В табл.34 приведены данные для назначения пролета C верхней обшивки, выполненной из разных материалов. Следует заметить, что в таблице приведены максимальные предельные величины пролета C , фактические размеры могут быть приняты в меньшую сторону.

Таблица 34

Предельные величины (C) пролета верхней обшивки

№ п/п	Материал обшивки	Величина пролета C , подсчитанная по формуле, см			Предельная величина пролета C , см
		(36)	(37)	(38)	
1	Фанера (ФСФ) толщиной: $\delta = 8$ мм $\delta = 10$ мм $\delta = 12$ мм ($R_u = 6,5$ МПа, $E = 9 \cdot 10^4$ МПа)	54	63	32	32
		68	79	52	52
		81	95	74	74
2	ДСП толщиной: $\delta = 13$ мм $\delta = 16$ мм $\delta = 19$ мм ($R_u = 4$ МПа, $E = 10^3$ МПа)	69	49	54	49
		84	60	82	60
		99	72	116	72
3	ЦСП толщиной: $\delta = 12$ мм ($R_u = 4,2$ МПа) $\delta = 16$ мм ($R_u = 4,2$ МПа) $\delta = 18$ мм ($R_u = 3,5$ МПа) $E = 35 \cdot 10^2$ МПа	64	67	48	48
		84	89	86	84
		86	101	90	86
4	СМЛ толщиной: $\delta = 8$ мм ($R_u = 8$ МПа) $\delta = 12$ мм ($R_u = 5,5$ МПа) $\delta = 16$ мм ($R_u = 5,5$ МПа)	42	-	40	40
		41	-	62	58
		54	-	86	78
5	OSB толщиной: $\delta = 10$ мм $\delta = 12$ мм $\delta = 16$ мм ($R_u = 5$ МПа, $E = 48 \cdot 10^2$ МПа)	59	64	40	40
		71	77	58	58
		94	103	78	78
6	АЦЛ толщиной: $\delta = 8$ мм $\delta = 10$ мм ($R_u = 15,8$ МПа, $E = 5 \cdot 10^3$ МПа)	84	51	80	51
		90	64	126	64

П р и м е ч а н и я : величины C подсчитаны при действии нагрузки от снега $P_{сн} = 1,8$ кПа ($P_{сн}^H = 0,7P_{сн} = 1,26$ кПа).

Нижняя обшивка панели работает на изгиб от собственного веса и веса утеплителя. Ввиду незначительной величины этой нагрузки, нижнюю обшивку можно не рассчитывать. Обычно она принимается такой же или меньшей толщины, чем верхняя обшивка.

Крепление обшивок к несущим ребрам панели производят гвоздями или шурупами, диаметром 3–5 мм и длиной 60–70 мм. Шаг расстановки назначают конструктивно около 300 мм. Расстановка и диаметры гвоздей и шурупов в плитах ЦСП приведены в табл. 13.

Продольные несущие ребра панелей работают независимо от обшивок, как свободнолежащие балки, воспринимающие нагрузку с полосы, шириной равной C , т.е. нагрузки на балку будут равны:

$$q^H = (g^H + P_{CH}) \cdot C; \quad q = (g + P_{CH}) \cdot C,$$

где $g = (g^H)$ и $P_{CH} (P_{CH}^H)$ – постоянные и временные нагрузки, действующие на 1 м^2 панели.

Максимальный изгибающий момент в ребре равен:

$$M = 0,125(g + P_{CH}) \cdot C \cdot l^2,$$

а максимальный прогиб $f = \frac{5(g^H + P_{CH}^H) \cdot c \cdot l^4}{384EJ}$.

Из условия требуемой несущей способности

$$M = 0,125(g + P_{CH}) \cdot C \cdot l^2 \leq R_u \cdot W$$

получаем, что

$$W_{\text{тр}} \geq \frac{0,125(g + P_{CH}) \cdot C \cdot l^2}{R_u}. \quad (39)$$

Из условия требуемой жесткости

$$\frac{f}{l} = \frac{5(g^H + P_{CH}^H) \cdot C \cdot l^3}{384EJ} \leq \left[\frac{f}{l} \right]$$

имеем

$$J_{\text{тр}} \geq \frac{5(g^H + P_{CH}^H) \cdot C \cdot l^3}{384E \left[\frac{f}{l} \right]}; \quad (40)$$

при $\left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{200}$ формула (40) получит вид

$$J_{\text{тр}} \geq \frac{2,6(g^H + P_{CH}^H) \cdot C \cdot l^3}{E}. \quad (41)$$

Из формул (39)–(41) видно, что требуемые геометрические параметры сечения ребра зависят не только от механических характеристик (R_u и E) материала, но и от геометрических размеров: шага ребер C и пролета панели l .

В табл.35 приведены результаты расчетов по формулам (39) и (41) для назначения размеров сечения ребер применительно к материалу несущих ребер панели: древесина и LVL.

Т а б л и ц а 35

Требуемые геометрические характеристики ребер панели

№ п/п	Материал ребер	Пролет l , м	Шаг ребер C , мм	$W_{тр}$, см ³	$J_{тр}$, см ⁴
1	Древесина (доски, бруски, брусья), сосна, 2-й сорт	3,0	300	56,7	336,0
			400	75,6	449,2
			500	94,5	561,6
			600	113,4	673,9
		4,0	300	100,8	798,7
			400	134,4	1064,9
			500	168,	1331,2
			600	201,6	1597,4
		5,0	300	157,5	1560,0
			400	210,0	2080,0
			500	262,5	2600,0
			600	315,0	3120,0
		6,0	300	226,8	2695,0
			400	302,4	3594,2
			500	378,0	4492,8
			600	453,6	5391,3
2	Материал LVL или клееная древесина «Kerta»	3,0	300	40,5	336,0
			400	54,0	449,2
			500	68,4	561,6
			600	81,9	673,9
		4,0	300	72,0	798,7
			400	96,0	1064,9
			500	121,6	1331,2
			600	145,6	1597,4
		5,0	300	112,5	1560,0
			400	150,0	2080,0
			500	190,0	2600,0
			600	227,5	3120,0
		6,0	300	162,0	2695,0
			400	216,0	3594,2
			500	273,6	4492,8
			600	327,6	5391,3

П р и м е ч а н и е . Характеристики $W_{тр}$ и $J_{тр}$ подсчитаны при следующих величинах: $(g+P_{сн})=2,2$ кПа, $R_u^{дп} = 13$ МПа, $R_u^{LVL} = 18$ МПа, $E_{дп} = E_{LVL} = 10^4$ МПа.

Для назначения окончательных размеров сечения несущих ребер необходимо задаваться шириной сечения $b = b_{\text{зад}}$, исходя из конструктивных требований расстановки гвоздей или шурупов (шаг расстановки (S_3) по СНиП II–25–80). При этом величина $b_{\text{зад}}$ должна быть не менее $2S_3$.

Приняв ширину $b = b_{\text{зад}}$, требуемая высота сечения ребра определяется как:

$$h'_{\text{тр1}} \geq \sqrt{\frac{6W_{\text{тр}}}{b_{\text{зад}}}}; \quad (42)$$

$$h'_{\text{тр2}} \geq \sqrt[3]{\frac{12J_{\text{тр}}}{b_{\text{зад}}}}. \quad (43)$$

Окончательная величина h принимается как максимальная из h_1 и h_2 , с учетом требований сортамента материалов.

Табл.34 и 35 и приведены для ограниченных, хотя и наиболее распространенных вариантов исходных материалов панелей. При проектировании панелей из других материалов необходимо воспользоваться формулами (36)–(41).

Как частные примеры использования результатов вышеприведенных расчетов рассмотрены следующие случаи.

Пример 1.

Запроектировать панель при следующих данных: пролет – 3 м; обшивка из ЦСП толщиной 16 мм; ребра из древесины (сосна 2-й сорт).

Для обшивок принимаем ЦСП с размерами листов 1200×3200 мм. С учетом обрезки плит на выполнение стыков и заданного пролета (3 м) номинальные размеры плиты будут 1190×2990 мм. По табл.34 для плиты толщиной 16 мм предельный шаг несущих ребер составляет 840 мм. Принимаем панель с тремя несущими ребрами, тогда $C = \frac{1190}{2} = 595 \text{ мм} < [840 \text{ мм}]$.

По табл.35 находим, что требуемый момент сопротивления несущего ребра при шаге $C = 600 \text{ мм}$ равен $W_{\text{тр}} = 113,4 \text{ см}^3$. Из условия забивки гвоздей (см. табл. 13) расстояние от кромки до оси забивки гвоздей (S_3) должно быть не менее 25 мм. Принимаем ширину ребра $b = 2 \cdot 25 = 50 \text{ мм}$. Тогда по формуле (42) находим требуемую высоту ребра:

$$h_{\text{тр1}} \geq \sqrt{\frac{6113,4}{5}} = 11,7 \text{ см}.$$

Из условия прочности по сортаменту сечение ребра должно быть 50×125 мм.

Из условия жесткости по табл. 35 и формуле (43), имеем

$$h'_{\text{тр}2} \geq \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 4492,8}{6,9}} = \sqrt[3]{1617,36} = 11,75 \text{ см.}$$

Принято сечение несущих ребер из досок 50×125 мм, отвечающее условиям прочности и жесткости.

Пример 2.

Запроектировать панель под пролет $l = 6$ м с обшивками из OSB толщиной 12 мм и несущими ребрами из клееной древесины LVL (под нагрузку, отмеченную в табл. 35 и 34). Соединение обшивок с ребрами на шурупах диаметром 5 мм.

По табл.34 находим, что максимальный шаг несущих ребер в панели для листов OSB толщиной 12 мм должен быть не более 58 см. Принимаем шаг 50 см, а размер панели в плане 1500×6000 мм.

Для шага ребер $C = 500$ мм и пролета $l = 6$ м находим, что $W_{\text{тр}} = 273,6 \text{ см}^3$, $J_{\text{тр}} = 4492,8 \text{ см}^4$.

Из условия расстановки шурупов принимаем ширину бруска 69 мм.

Тогда по формуле (42) находим:

$$h'_{\text{тр}1} \geq \sqrt{\frac{6W_{\text{тр}}}{b_{\text{зад}}}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 273,6}{6,9}} = 15,42 \text{ см.}$$

Принимаем стандартный брусок сечением 69×80 мм. Из условия жесткости по формуле (43) находим

$$h_{\text{тр}2} \geq \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 4492,8}{6,9}} = \sqrt[3]{7813,4} = 19,98 \approx 20 \text{ см.}$$

Окончательно принимаем брусок LVL из условия жесткости сечением 69×200 мм.

При наличии других особых условий (теплотехнических, технологических и др.) размеры несущих ребер панели могут быть приняты с другими сечениями, используя данные табл. 35.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отечественный и зарубежный опыт строительства показал необходимость и высокую эффективность применения в ограждениях зданий конструкций из дерева и пластмасс.

Интерес к этим конструкциям особо проявляется в связи с развитием производства новых современных материалов, позволяющих получать индустриальные рациональные, по всем параметрам, крупноразмерные панели и щиты, применение которых снижает стоимость и сроки строительства зданий и сооружений.

В пособии рассмотрены типы панельных конструкций, отвечающие современному уровню развития техники и технологии производства как строительных материалов, так и самих панелей. Большое внимание уделено материалам и конструкциям ограждения на базе импортного оборудования и технологии. Конечно, в объеме учебного пособия трудно осветить все прогрессивные достижения в области применения ограждающих конструкций из дерева и пластмасс. Техника и технология их изготовления, а также области применения постоянно совершенствуются и развиваются, поэтому автор оставляет за собою право при последующих переизданиях учебного пособия расширить его объем с освещением последних достижений науки, техники и технологий в этой области. Однако, учитывая повышенный интерес к затронутым в пособии вопросам, а также необходимость в практических примерах при работе над курсовыми и дипломными проектами, данное пособие может быть полезным студентам и специалистам в области проектирования зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования [Текст]. – М.: Стройиздат, 1982. – 65 с.
2. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) [Текст]. – М.: Стройиздат, 1986. – 215 с.
3. СП64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 [Текст].
4. Справочник по клеям и клеящим мастикам в строительстве [Текст] / под ред. В.Г. Микульского и О.Л. Фиговского. – М.: Стройиздат, 1984. – 241 с.
5. Конструкции из дерева и пластмасс [Текст] / Э.В. Филимонов [и др.]. – М.: АСВ, 2004. – 473 с.
6. Губенко, А.Б. Строительные конструкции с применением пластмасс [Текст] / А.Б. Губенко. – М.: Стройиздат, 1970. – 326 с.
7. Строительные конструкции из дерева и синтетических материалов [Текст] / И.М. Гринь [и др.]. – Харьков: Вища школа, 1975. – 277 с.
8. Гринь, И.М. Проектирование и расчет деревянных конструкций [Текст]: справочник / И.М. Гринь. – Киев: Будивельник, 1988.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Т а б л и ц а 1 П

Плотность строительных материалов,
применяемых в ограждающих конструкциях

Материал	Плотность, кг/м ³
1. Дерево и древесноплитные материалы:	
сосна, ель, кедр, пихта, осина	500-600
дуб, берёза, лиственница	700-800
фанера строительная	650-700
фанера бакелизированная	1000
древесно-волокнистые плиты (твёрдые)	850-950
древесно-стружечные плиты (конструкционные)	750-850
цементно-стружечные плиты	1200-1300
2. Асбестоцементные изделия:	
Волнистые листы	1600
Плоские листы непрессованные	1600-1700
Плоские листы прессованные	1800
3. Листовые и рулонные материалы	
рубероид, толь, пергамин	600
картон	700-1000
линолеум	1100-1600
поливинилхлоридные плитки	1800
4. Тепло- и звукоизоляционные материалы.	
плиты минераловатные жёсткие	200-400
плиты полужёсткие и прошивные	125-200
маты минераловатные	75-100
плиты стекловатные	50-150
маты стекловатные	35-50
плиты древесно-волокнистые изоляционные	150-250
плиты изоляционно-отделочные	250-350
плиты цементно-фибrolитовые	300-500
плиты пробковые	150-350
плиты из пористых пластмасс	25-200
плиты из пенопласта	20-100
войлок строительный	100-150
минеральная вата и стеклянная вата	75-150
перлит	75-250
шлаки гранулированные	400-800
керамзит	500-900
песок	1600

Продолжение приложения
Таблица 2 П

Основные данные для проектирования покрытий

№ п/п	Вид кровли	Уклон ската		Вес кровли, кг/м ²
		мини-мальный	макси-мальный	
1.	Из рулонных материалов, двух-слойные, наклеиваемые на мастике	1/7 8°07'	14°02'	6
2.	То же, при трёх слоях	1/14 4°05'	14°02'	9
3.	То же, при четырёх слоях	1/30 1°35'	14°02'	12
4.	То же, при пяти слоях	1/30 0°55'	14°02'	15
5.	Из асбестоцементных плиток и шифера	1/2 26°34'	63°20'	12-18
6.	Из волнистых асбестоцементных листов обычного профиля (ОВ)	1/3 18°25'	45°	14
7.	То же, но усиленного профиля (УВ)	1/4 14°02'	45°	20-22
8.	Из черепицы	1/2 26°34'	63°20'	50-65
9.	Из листовой кровельной стали толщиной $\delta=0,38...0,82$ мм с одинарными фальцами	1/3.5 16°02'	26°34'	5 при $\delta=0,5$ мм
10.	То же, с двойными фальцами	1/5 11°19'	26°34'	5 при $\delta=0,5$ мм

Продолжение приложения
Таблица 3 П

Расчетные характеристики некоторых материалов для панелей

№ п/п	Материал	Расчетные сопротивления, МПа				Модуль упругости E , МПа	Модуль сдвига G , МПа	Коэффициент Пуассона μ
		растяжению R_p	изгибу R_u	сжатию R_c	срезу R_{cp}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Стеклопластик полиэфирный листовой	<u>36</u> 15	<u>78</u> 15	<u>54</u> 15	<u>27</u> 9	3000	-	0,4
2.	Стеклопластик КАСТ-В	<u>172</u> 110	<u>90</u> 55	<u>71</u> 45	<u>52,5</u> 30	19000	-	0,15
3.	Стеклопластик АГ-4С	<u>375</u> 220	<u>187,5</u> 110	<u>150</u> 90		15000		0,13
4.	Стекло органическое	<u>41</u> 15	<u>75</u> 25	<u>60</u> 20	<u>45</u> 14	1400		
5.	Винипласт листовой (непрозрачный)	<u>38</u> 14	<u>70</u> 20	<u>52,5</u> 14	<u>28</u> 8,5	1600		
6.	Винипласт листовой (прозрачный)	<u>35</u> 13	<u>63</u> 18	<u>52,5</u> 14	<u>28</u> 8,5	1600		
7.	Древесно-стружечные плиты плотностью $\gamma=750-850$ кгс/м ³	<u>6,0</u> 2,0	<u>10,5</u> 4,0	<u>9,0</u> 3,1	<u>3,6</u> 1,5	1400. (раст.) 850 (сжат.)	-	0,21
8.	Асбестоцемент листовой при проектной марке 225 кгс/см ² при направлении волокон вдоль пролета	7,1	15,8	23,0	10,8	5000	2000	0,2
9.	Алюминиевые сплавы марок: АМцМ АМцП АМгМ АД-31-Т АД-33-Т	40 100 70 70 160	440 100 70 70 160	40 100 70 70 160	24 60 42 66 420-960	71000	27000	0,3
10.	Пенопласт полистирольный марки ПСБ-Т плотностью 100 кг/м ³	<u>0,18</u> 0,06	-	<u>0,18</u> 0,06	<u>0,17</u> 0,05	8,5	5,0	-
11.	Пенопласт полистирольный марки ПС-1 плотностью 100 кг/м ³	<u>1,3</u> 0,34	-	<u>0,56</u> 0,16	<u>0,66</u> 0,18	20	11	-

Продолжение приложения
Окончание табл. 3 П

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12.	Пенопласт полихлор-виниловый марки ПХВ-1 плотностью 100 кг/м ³	<u>0,11</u> 0,3	–	<u>0,52</u> 0,15	<u>0,51</u> 0,14	20	11	–
13.	Пенопласт фенольный марки ФРП-1, ФЛ-1 плотностью 60 кг/м ³	<u>0,70</u> 0,02	–	<u>0,096</u> 0,3	<u>0,06</u> 0,2	4,6	3,0	–

Таблица 4 П
Расчетные сопротивления сосны и ели

Напряженное состояние и характеристика элементов	Обозначение	Расчетные сопротивления, МПа (кгс/см ²), для сортов древесины		
		1	2	3
1	2	3	4	5
1. Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон:				
а) элементы прямоугольного сечения (за исключением указанных в подпунктах "б", "в") высотой до 50 см	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	<u>14</u> 140	<u>13</u> 130	<u>8,5</u> 85
б) элементы прямоугольного сечения шириной от 11 до 13 см при высоте сечения от 11 до 50 см	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	<u>15</u> 150	<u>14</u> 140	<u>10</u> 100
в) элементы прямоугольного сечения шириной свыше 13 см при высоте сечения от 13 до 50 см	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	<u>16</u> 160	<u>15</u> 150	<u>11</u> 110
г) элементы из круглых лесоматериалов без врезок в расчетном сечении	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	-	<u>16</u> 160	<u>10</u> 100
2. Растяжение вдоль волокон:	R_p	<u>10</u> 100	<u>7</u> 70	-
а) неклеенные элементы				
б) клеенные элементы	R_p	<u>12</u> 120	<u>9</u> 90	-
3. Сжатие и смятие по всей площади поперек волокон	$R_{с90}, R_{см90}$	<u>1,8</u> 18	<u>1,8</u> 18	<u>1,8</u> 18
4. Смятие поперек волокон местное:				
а) в опорных частях конструкций, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов	$R_{см90}$	<u>3</u> 30	<u>3</u> 30	<u>3</u> 30
б) под шайбами при углах смятия от 90 до 60°	$R_{см90}$	<u>4</u> 40	<u>4</u> 40	<u>4</u> 40

Продолжение приложения
Окончание табл. 4 П

1	2	3	4	5
5. Скалывание вдоль волокон:				
а) при изгибе неклееных элементов	$R_{ск}$	<u>1,8</u> 18	<u>1,6</u> 16	<u>1,6</u> 16
б) при изгибе клееных элементов	$R_{ск}$	<u>1,6</u> 16	<u>1,5</u> 15	<u>1,5</u> 15
в) в лобовых врубках для максимального напряжения	$R_{ск}$	<u>2,4</u> 24	<u>2,1</u> 21	<u>2,1</u> 21
г) местное в клеевых соединениях для максимального напряжения	$R_{ск}$	<u>2,1</u> 21	<u>2,1</u> 21	<u>2,1</u> 21
6. Скалывание поперек волокон:				
а) в соединениях неклееных элементов	$R_{ск90}$	<u>1</u> 10	<u>0,8</u> 8	<u>0,6</u> 6
б) в соединениях клееных элементов	$R_{ск90}$	<u>0,7</u> 7	<u>0,7</u> 7	<u>0,6</u> 6
7. Растяжение поперек волокон элементов из клееной древесины	R_{p90}	<u>0,35</u> 3,5	<u>0,3</u> 3	<u>0,25</u> 2,5

Таблица 5 П

Переходные коэффициенты m_n

Древесные породы	Коэффициент m_n для расчетных сопротивлений		
	растяжению, изгибу, сжатию и смятию вдоль волокон $R_p, R_{из}, R_c, R_{см}$	сжатию и смятию поперек волокон $R_{с90}, R_{см90}$	скалыванию $R_{ск}$
Хвойные			
1. Лиственница, кроме европейской и японской	1,2	1,2	1
2; Кедр сибирский, кроме кедра Красноярского края	0,9	0,9	0,9
3. Кедр Красноярского края, сосна Веймутова	0,65	0,65	0,65
4. Пихта	0,8	0,8	0,8
Твердые лиственные			
5. Дуб	1,3	2	1,3
6. Ясень, клен, граб	1,3	2	1,6
7. Акация	1,5	2,2	1,8
8. Береза, бук	1,1	1,6	1,3
9. Вяз, ильм	1	1,6	1
Мягкие лиственные			
10. Ольха, липа, осина, тополь	0,8	1	0,8

Примечание. Коэффициенты m_n , указанные в таблице для конструкций опор воздушных линий электропередачи, изготавливаемых из не пропитанной антисептиками лиственницы (при влажности $\leq 25\%$), умножаются на коэффициент 0,85.

Продолжение приложения

Таблица 6 П

Расчетные сопротивления строительной фанеры

Вид фанеры	Расчетные сопротивления, МПа (кгс/см ²)				
	растяжению в плоскости листа $R_{ф.р}$	сжатую в плоскости листа $R_{ф.с}$	изгибу из плоскости листа $R_{ф.и}$	скальванию в плоскости листа $R_{ф.ск}$	срезу перпендикулярно плоскости листа $R_{ф.ср}$
1	2	3	4	5	6
1. Фанера клееная березовая марки ФСФ, сортов В/ВВ, В/С, ВВ/С:					
а) семислойная толщиной 8 мм и более:					
вдоль волокон наружных слоев	<u>14</u> 140	<u>12</u> 120	<u>16</u> 160	<u>0,8</u> 8	<u>6</u> 60
поперек волокон наружных слоев	<u>9</u> 90	<u>8,5</u> 85	<u>6,5</u> 65	<u>0,8</u> 8	<u>6</u> 60
под углом 45° к волокнам	<u>4,5</u> 45	<u>7</u> 70	-	<u>0,8</u> 8	<u>9</u> 90
б) пятислойная толщиной 5-7 мм:					
вдоль волокон наружных слоев	<u>14</u> 140	<u>13</u> 130	<u>18</u> 180	<u>0,8</u> 8	<u>5</u> 50
поперек волокон наружных слоев	<u>6</u> 60	<u>7</u> 70	<u>3</u> 30	<u>0,8</u> 8	<u>6</u> 60
под углом 45° к волокнам	<u>4</u> 40	<u>6</u> 60	-	<u>0,8</u> 8	<u>9</u> 90
2. Фанера клееная из древесины лиственницы марки ФСФ, сортов В/ВВ и ВВ/С, семислойная, толщиной 8 мм и более:					
вдоль волокон наружных слоев	<u>9</u> 90	<u>17</u> 170	<u>18</u> 180	<u>0,6</u> 6	<u>5</u> 50
поперек волокон наружных слоев	<u>7,5</u> 75	<u>13</u> 130	<u>11</u> 110	<u>0,5</u> 5	<u>5</u> 50
под углом 45° к волокнам	<u>3</u> 30	<u>5</u> 50	-	<u>0,7</u> 7	<u>7,5</u> 75

Продолжение приложения
Окончание табл. 6 П

1	2	3	4	5	6
3. Фанера бакелизированная марки ФБС, толщиной 7 мм и более:					
вдоль волокон наружных слоев	<u>32</u> 320	<u>28</u> 280	<u>33</u> 330	<u>1,8</u> 18	<u>11</u> 110
поперек волокон наружных слоев	<u>24</u> 240	<u>23</u> 230	<u>25</u> 250	<u>1,8</u> 18	<u>12</u> 120
под углом 45° к волокнам	<u>16,5</u> 165	<u>21</u> 210	-	<u>1,8</u> 18	<u>16</u> 160

Примечание. Расчетное сопротивление смятию и сжатию перпендикулярно плоскости листа для березовой фанеры марки ФСФ $R_{ф.с90} = R_{ф.см90} = 4$ МПа (40 кгс/см²) и марки ФБС $R_{ф.с90} = R_{ф.см90} = 8$ МПа (80 кгс/см²).

Таблица 7 П

Модули упругости $E_{ф}$, модули сдвига $C_{ф}$
и коэффициенты Пуассона $\nu_{ф}$ для строительной фанеры

Вид фанеры	Модуль упругости $E_{ф}$, МПа	Модуль сдвига $C_{ф}$, МПа	Коэффициент Пуассона
	кгс/см ²	кгс/см ²	$\nu_{ф}$
1	2	3	4
1. Фанера клееная березовая марки ФСФ, сортов В/ВВ, В/С, ВВ/С, семислойная и пятислойная:			
вдоль волокон наружных слоев	<u>9000</u> 90000	<u>750</u> 7500	<u>0,085</u>
поперек волокон наружных слоев	<u>6000</u> 60000	<u>750</u> 7500	0,065
под углом 45° к волокнам	<u>2500</u> 25000	<u>3000</u> 30000	0,6
2. Фанера клееная из древесины лиственницы марки ФСФ, сортов В/ВВ и ВВ/С, семислойная, толщиной 8 мм и более:			
вдоль волокон наружных слоев	<u>7000</u> 70000	<u>800</u> 8000	0,07
поперек волокон наружных слоев	<u>5500</u> 55000	<u>800</u> 8000	0,06
под углом 45° к волокнам	<u>2000</u> 20000	<u>2200</u> 22000	0,6

Продолжение приложения
Окончание табл. 7 П

1	2	3	4
3. Фанера бакелизированная марки ФБС, толщиной 7 мм и более: вдоль волокон наружных слоев поперек волокон наружных слоев под углом 45° к волокнам	<u>12000</u> 120000	<u>1000</u> 10000	0,085
	<u>8500</u> 85000	<u>1000</u> 10000	0,065
	<u>3500</u> 35000	<u>4000</u> 40000	0,7

Примечание. Коэффициент Пуассона ν_{ϕ} указан для направления, перпендикулярного оси, вдоль которой определен модуль упругости E_{ϕ} .

Таблица 8 П
Расчетные характеристики фанерных профилей
и некоторых конструкционных пластмасс

Наименование и марка материала	Расчетные сопротивления, МПа				Модули, МПа	
	растяжению R_p	сжатую R_c	изгибу $R_{и}$	скалыванию $R_{ск}/R_{ср}$	упругости E	сдвига G
1. Фанерные трубы марки Ф-1: Ø50-150 Ø200-300	25 25	25 25	20 15	- -	8100 7300	- -
2. Фанерные профили: вдоль волокон наружных слоев поперек волокон наружных слоев	14 5	11,5 5	16 -	0,6/3,5 0,8/5	1000 500	750 750
3. Стеклопластики: КАСТ – В СВАМ (1:1) АГ-4С (1:1) полиэфирный	110 160 220 15	45 140 90 15	55 250 110 15	30 50 - 9	19000 24000 15000 3000	- - 5,70 -
4. Древесно-слоистый пластик марки ДСП-Б, толщиной 15-60 мм	109	80	130	7	15000	
5. Винипласт	14	14	20	8,5	1600	

Окончание приложения

Таблица 9 П

Расчётные сопротивления, модули упругости
и модули сдвигов пенопластов

Пластмасса	Расчетные сопротивления, МПа				Модуль упругости E , МПа	Модуль сдвига G , МПа
	растяжению R_p	изгибу R_u	сжатию R_c	срезу R_{cp}		
1	2	3	4	5	6	7
Полистирольный:						
– марки СПБ плотностью, кг/м ³	<u>0,030</u> <u>0,015</u>	=	<u>0,030</u> <u>0,015</u>	<u>0,030</u> <u>0,015</u>	<u>7</u> <u>2</u>	<u>2,5</u> <u>1,0</u>
40	<u>0,090</u> <u>0,030</u>	=	<u>0,090</u> <u>0,030</u>	<u>0,090</u> <u>0,030</u>	<u>12</u> <u>4</u>	<u>4</u> <u>1,5</u>
– марки СПБ-т, плотностью, кг/м ³	<u>0,042</u> <u>0,015</u>	=	<u>0,030</u> <u>0,015</u>	<u>0,042</u> <u>0,015</u>	<u>7</u> <u>2</u>	<u>2,5</u> <u>1,0</u>
20	<u>0,120</u> <u>0,040</u>	=	<u>0,120</u> <u>0,040</u>	<u>0,090</u> <u>0,030</u>	<u>15</u> <u>5</u>	<u>5</u> <u>2</u>
40	<u>0,180</u> <u>0,060</u>	=	<u>0,180</u> <u>0,060</u>	<u>0,170</u> <u>0,050</u>	<u>25</u> <u>8,5</u>	<u>10</u> <u>5</u>
60	<u>1,100</u> <u>0,300</u>	=	<u>0,520</u> <u>0,150</u>	<u>0,510</u> <u>0,140</u>	<u>60</u> <u>20</u>	<u>20</u> <u>11</u>
– марки ПС-1 плотностью, кг/м ³						
100	<u>0,072</u> <u>0,020</u>	=	<u>0,096</u> <u>0,030</u>	<u>0,060</u> <u>0,020</u>	<u>10</u> <u>4</u>	<u>7</u> <u>3</u>
Фенольный марок ФРП-1, ФЛ-1, плотностью, кг/м ³ :						
60						

Примечания. В числителе приведены кратковременные, а в знаменателе – длительные характеристики пластмасс.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ОГРАЖДЕНИЙ СТЕН, ПОКРЫТИЙ И ПЕРЕКРЫТИЙ	7
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСТИЛОВ.....	13
2.1. Деревянные настилы	13
2.2. Настилы из волнистых листов.....	15
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЩИТОВ	18
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГОНОВ	22
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАНЕЛЕЙ	25
5.1. Классификация и общая характеристика панелей	25
5.2. Материалы для элементов панелей и их основные характеристики.....	50
5.2.1. Материалы для обшивок панелей.....	51
5.2.2. Материалы для срединного слоя панелей.....	70
5.2.3. Клеи для соединения элементов панелей и их характеристики	74
5.3. Конструирование панелей.....	77
5.3.1. Конструирование ребристых панелей.....	78
5.3.2. Особенности конструирования светопропускаемых панелей.....	1
5.3.3. Конструирование панелей со сплошным наполнителем.....	84
5.3.4. Конструктивные решения обрамления панелей.....	8
5.3.5. Стыки и крепление панелей к несущим конструкциям.....	89
5.4. Расчет панелей.....	92
5.4.1. Расчет ребристых панелей.....	3
5.4.2. Расчет панелей со сплошным наполнителем.....	101
5.4.3. Схема автоматизированного проектирования панелей	104
6. ПРИМЕРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	109
6.1. Проектирование деревянного настила.....	109
6.2. Проектирование щита покрытия	110
6.2.1. Расчёт крепления щита к несущей конструкции.....	113
6.3. Проектирование холодного покрытия из волнистых стеклопластиковых листов.....	113
6.4. Проектирование междуэтажного перекрытия	116
6.4.1. Подсчёт нагрузок	116
6.4.2. Расчёт настила чистого пола.....	116
6.4.3. Расчёт щита наката.....	118

6.4.4. Расчёт балок перекрытия	119
6.5. Проектирование светопропускаемой стеновой панели	119
6.5.1. Назначение основных размеров панели.....	121
6.5.2. Определение геометрических характеристик панели.....	121
6.5.3. Подсчёт нагрузок.....	122
6.5.4. Определение расчётных усилий	123
6.6. Проектирование клефанерной панели холодного покрытия..	125
6.6.1. Выбор конструкции и назначение основных размеров	125
6.6.2. Определение геометрических характеристик	126
6.6.3. Подсчёт нагрузок	128
6.7. Проектирование ребристой панели	130
6.7.1. Выбор конструкции и назначение основных размеров	130
6.7.2. Определение геометрических характеристик	132
6.7.3. Подсчёт нагрузок.....	132
6.8. Проектирование светопропускаемой панели	134
6.8.1. Назначение основных размеров панели.....	135
6.8.2. Определение геометрических характеристик панели.....	137
6.8.3. Подсчёт нагрузок.....	139
6.9. Проектирование панели со сплошным срединным слоем.....	141
6.9.1. Выбор конструкции и назначение основных размеров	141
6.9.2. Определение геометрических характеристик	142
6.9.3. Подсчёт нагрузок.....	143
6.10. Проектирование трехслойной панели типа «Венталл»	145
6.10.1. Выбор конструкции и назначение основных размеров... ..	146
6.10.2. Определение геометрических характеристик.....	147
6.10.3. Подсчёт нагрузок и определение расчётных усилий в панели.....	149
6.10.4. Проверка несущей способности панели	149
6.10.5. Проверка прогибов	150
6.11. Проектирование панели с соединениями обшивок и ребер на гвоздях или шурупах	151
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	158
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	159
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	160

Учебное издание

Вдовин Вячеслав Михайлович

**КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**
Учебное пособие

Редактор В.С. Кулакова
Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 26.12.15. Формат 60x84x/16/
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ.л. 10,0. Уч.-изд.л. 10,75. Тираж 80 экз.
Заказ №23.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28