

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

В.М. Вдовин, В.Н. Карпов

**НЕСУЩИЕ ПАНЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ
ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ**

Пенза 2014

УДК693.94:674.815:728.012.26(035.3)

ББК38.42:38.35:38.711

В25

*Монография подготовлена в рамках проекта
«ПГУАС – региональный центр повышения качества подготовки
высококвалифицированных кадров для строительной отрасли»
(конкурс Министерства образования и науки Российской Федерации –
«Кадры для регионов»)*

Рецензенты: генеральный директор ООО «Технострой-
проект», кандидат технических наук,
профессор В.С. Абрашитов;
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Строительные конструкции» Б.В. Миряев

Вдовин В.М.

В25 Несущие панели с применением древесно-стружечных плит для
малоэтажного домостроения: моногр. / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов. –
Пенза: ПГУАС, 2014. – 144 с.
ISBN 978-5-9282-1123-3

Рассматриваются конструктивные решения крупных клееных панелей полно-
сборных деревянных домов, выполненных с применением обшивочных материалов из
древесно-стружечных плит. Приводятся результаты действительной работы элементов
ребристых панелей, основанные на теоретических и экспериментальных исследованиях
натурных ребристых панелей с оптимизацией их конструктивных решений. Даются
рекомендации по назначению рациональных механических характеристик древесно-
стружечных плит, исходя из действительной работы панелей в системе полносборного
дома.

Монография подготовлена на кафедре «Строительные конструкции» и предна-
значена для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», может
быть полезна широкому кругу специалистов, занимающихся вопросами исследования и
проектирования полносборных деревянных домов из крупных панельных конструкций,
выполненных с применением древесно-стружечных плит.

ISBN 978-5-9282-1123-3

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2014
© Вдовин В.М., Карпов В.Н., 2014

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в нашей стране все чаще наблюдаются различные природные катаклизмы, оказывающие негативные воздействия на нормальные условия жизни большого числа людей. Последствия наводнения в дальневосточных районах или действия пожаров во многих районах страны приводят к самой главной людской беде – к потере жилища и всего нажитого семейного состояния. Учитывая желание многих людей, пострадавших в таких ситуациях, остаться жить и трудиться на том же месте, где существовало потерянное строение, приходится решать проблемы восстановления и строительства не одного или двух домов, а целого села или района, т.е. решать вопросы крупномасштабного строительства. Самым главным и острым моментом в решении такой проблемы является еще и другой важный фактор – фактор времени возведения новых домов. В таких случаях дома должны быть не только доступными и дешевыми, но и быстровозводимыми, со всеми коммунальными и инженерными сетями.

В связи с переменой политики экономических и социальных отношений активный процесс обрела миграция населения. Это не только беженцы, вынужденные переселенцы, северяне, но и военнослужащие, прибывающие на территорию Центральной России. Большое количество мигрантов направляется в сельскую местность. Необходимо срочно организовать социальную базу и изыскать материальные средства для приема переселенцев. Расселять мигрантов рекомендуется компактными поселениями, не нарушая сложившейся структуры городских и сельских застроек. Возрождение деградирующих и «выбывших» сел предпочтительно по сравнению с формированием поселений на новом месте.

Предусмотренный Государственной целевой программой «Жилище» переход преимущественно на малоэтажную застройку требует реализации целостной системы мер по изменению структуры жилищного строительства, ориентации на эффективные строительные системы с рациональными архитектурными, конструктивными и технологическими параметрами. При этом одной из важнейших проблем является создание относительно дешевого малоэтажного жилища, доступного в условиях рыночных отношений широким группам населения и, кроме того, жилища, которое может быть быстро построено, что очень ценно в условиях быстрорастущего дефицита и инфляции.

При решении этой проблемы важное значение придается развитию производства деревянных домов полной заводской готовности, одной из главных особенностей которого является возможность применения эффективных конструкционных древесно-плитных материалов и прогрессивной

технологии изготовления конструкций. Использование таких материалов в домостроении и передовой высокомеханизированной технологии позволяет перейти на выпуск прогрессивных домов панельной и крупнопанельной конструкций, удачно сочетающих преимущества щитовых домов по степени заводской готовности и каркасных по экономии древесины.

Перспективными с точки зрения снижения расходов древесины и построечных трудозатрат являются деревянные крупнопанельные дома. Производство таких домов организовано на специализированных предприятиях, оснащенных современным высокомеханизированным оборудованием, позволяющим выпускать комплекты домов полной заводской готовности, включая отделку и инженерное оборудование. На строительной площадке выполняются лишь фундаменты и производится сборка элементов дома. Дома из крупных панелей собираются под крышу в течение 1–2 суток, а через неделю сдаются заказчику «под ключ» для заселения.

Наряду с достоинствами и масштабностью строительства в области деревянного панельного домостроения имеется ряд нерешенных проблем, одной из которых является необходимость дальнейшего снижения расхода крупноразмерного, высокосортного пиломатериала, а в связи с этим требуется разработка мероприятий, направленных на экономию деловой древесины. Определено несколько направлений снижения древесиноемкости панелей дома:

- использование элементов комбинированной конструкции (составного сечения) в качестве несущего каркаса;
- замена цельной древесины другими материалами, получаемыми на основе продуктов ее переработки.

За последние годы серьезное внимание уделяется полносборному домостроению, предусматривающему выполнение панельных конструкций с применением древесно-плитных материалов. Перспективное место среди них отводится панелям с обшивками из древесно-стружечных плит и плит OSB. Несущие ребра в таких панелях могут быть выполнены из древесины или других материалов, а в качестве основного соединения элементов (ребер и обшивок) используется клеевое. Применение такого соединения позволяет учитывать совместную работу ребер и обшивок, что приводит к повышению жесткости и несущей способности панелей, а следовательно, дает возможность снизить расход пиломатериала, используемого при изготовлении панелей.

Однако в существующей научно-технической и нормативной литературе вопросам расчета клееных панелей с обшивками из древесно-стружечных плит не уделено должного внимания. В современных нормах отсутствуют даже расчетные характеристики этого материала, столь необходимые для выполнения расчетов. Отсутствие разработанных методик расчета таких панелей ограничивает область и масштабность применения

их в строительстве, несмотря на все возрастающий объем производства древесно-стружечных плит в нашей стране. Выпускаемые древесно-стружечные плиты имеют достаточно высокие физико-механические характеристики. Кроме того, эти характеристики материала зависят от технологии изготовления, что позволяет выпускать ее с наперед заданными (желаемыми) механическими свойствами. Поэтому при решении комплексной проблемы важно знать еще, а какими физико-механическими характеристиками должна обладать плита, способная совмещать ограждающие и несущие функции, особенно в конструкциях полносборных деревянных домов, где уровень нагрузок и напряжений в конструкциях не столь высок.

В связи с этим вопросы, связанные с разработкой и исследованием клееных конструкций с применением древесно-стружечных плит, имеют важное значение.

1. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ДОМОВ И ПАНЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДРЕВЕСНО-ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

На протяжении всей истории человечества древесина играла огромную роль в решении строительных проблем. Не уменьшилось значение этого древнейшего строительного материала и в настоящее время, несмотря на появление и широкое применение железобетона, металла, новых полимерных материалов. По прогнозам, древесина, наряду с цементом и сталью, остается основным строительным материалом и на перспективу, что опровергает сложившееся у отдельных специалистов мнение о древесине как об «уходящем» материале. Значение древесины как строительного материала на современном этапе выявляется еще более отчетливо в связи с увеличением производства деревянных конструкций, изделий и деталей для деревянного малоэтажного домостроения, особенно активно развивающегося за последние годы.

Строительство коттеджей, индивидуальных жилых домов, фермерских хозяйств, сельских усадеб требует все большего использования древесины и материалов на ее основе. Однако применение дерева в строительстве, с одной стороны, и необходимость сохранения окружающей среды, с другой – выдвигает в качестве одного из основных требований ко всем отраслям народного хозяйства уменьшение расхода природного сырья и обеспечение рационального его использования.

В конструктивном отношении различают в основном два типа индустриальных деревянных домов:

1. Дома панельного типа.
2. Дома брусчато-бревенчатые.

Дома второго типа отличаются повышенной древесинемкостью и мелкоборностью, что приводит к существенному повышению трудоемкости и увеличению сроков строительства; поэтому брусчатые и бревенчатые дома применяются преимущественно при индивидуальном строительстве, как правило, при строительстве уникальных коттеджей оригинальной архитектуры и особой внешней выразительности. Дома такого типа не нуждаются в кратчайших сроках сдачи в эксплуатацию и в целом не решают жилищной проблемы.

К первому типу можно отнести дома, конструкции стен, покрытий и перекрытий которых выполнены в виде трехслойных ребристых систем. Такие системы, как правило, состоят из легкого деревянного каркаса и обшивочных элементов, выполненных преимущественно из древесно-плитных материалов. Внутри таких конструкций располагается утеплитель. Благодаря рациональной конструктивной схеме такие дома имеют

более высокие технико-экономические показатели по сравнению с домами бревенчатыми и брусчатыми.

Конструкции подобного типа могут быть выполнены как в виде мелких, средних или крупных панелей, полностью изготовленных в заводских условиях, так и в виде готового набора деталей заводского изготовления, собираемых в панельные конструкции на строительной площадке. В любом случае такие дома в наилучшей степени отвечают требованиям сборности, унификации в рамках масштабного строительства для удовлетворения запроса застройщиков.

Практика строительства показала, что предпочтительна такая система возведения малоэтажных домов, когда весь дом собирается из небольшого числа крупных панелей. В этом случае сокращаются сроки монтажа дома, уменьшается количество монтажных стыков панелей и если панели имеют полную заводскую отделку, то ликвидируются отделочные работы в условиях строительной площадки, что в целом способствует повышению качества и сокращению сроков строительства всего дома.

Зарубежный опыт строительства малоэтажных домов показал также, что в целях снижения стоимости домов домостроительный комбинат может поставлять по заявке заказчика комплекты домов согласно заводской номенклатуре с последующей их сборкой в дом силами самого заказчика. Такой подход тоже имеет смысл, хотя при этом существенно возрастают сроки ввода дома в эксплуатацию. Однако все детали конструкций строящегося дома легко подвергаются сборке, поскольку выполнены в заводских условиях с высокой точностью на поточных линиях комбината, оснащенного высокотехнологичным оборудованием.

1.1. Современные древесно-плитные материалы в конструкциях деревянных домов

Как уже отмечено ранее, древесно-плитные материалы выполняют роль обшивочных элементов в конструкциях ребристых панелей. При этом при достаточной жесткости материалов и монолитном соединении обшивок с ребрами, обшивки могут воспринимать значительные по величинам напряжения, возникающие в работе панели при действии эксплуатационных нагрузок. В целом это способствует повышению несущей способности и жесткости панелей. Доля участия обшивок в общей работе панели существенно зависит от прочностных и деформационных (модуль упругости) характеристик материала, используемого для обшивок.

Естественно, что с повышением этих характеристик материала обшивок увеличивается и степень вовлечения обшивок в восприятие расчетных усилий в панели. Желание или необходимость увеличения несущей

способности и жесткости панелей приводит к тому, что для обшивок стараются применять материалы достаточно прочные и упругие.

Опыт зарубежного и отечественного строительства показал, что ценными качествами для обшивок панелей обладают плитные материалы на основе древесины и полимерных связующих.

В настоящее время к числу таких материалов, применяемых в малоэтажном деревянном домостроении, можно отнести: фанеру, древесно-стружечные плиты, твердые и особо твердые древесноволокнистые плиты, OSB (ориентированная древесно-стружечная плита), LVL, ЦСП (цементно-стружечные плиты). Цементно-стружечные плиты изготавливаются на основе минерального вяжущего, но наполнителем их служит специальная древесная стружка. Ниже приводятся краткие сведения об этих материалах с целью оценить возможности их применения в малоэтажных домах.

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°C и давлении 1,6–2,3 МПа.

Фанера бакелизированная в отличие от обычной бывает повышенной прочности, 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°C и давлении 4,5 МПа. Время прогрева до 40 мин. Наружные шпоны при этом предварительно пропитывают фенолформальдегидными смолами.

Основные расчетные характеристики фанеры приведены в [63, табл. 10 и 11].

Древесно-стружечные плиты. По конструкции древесно-стружечные плиты разделяются на однослойные, трехслойные и многослойные (слои различаются по размерам древесных частиц и содержанию связующего материала). Для производства панелей практический интерес представляют плиты однослойные и трехслойные, средней массы ($\gamma = 550 - 650 \text{ кгс/м}^3$), а также тяжелые ($\gamma = 750 - 850 \text{ кгс/м}^3$). С увеличением плотности значительно возрастают прочностные показатели древесно-стружечных плит, поэтому в напряженных элементах следует применять тяжелые плиты.

Отечественные заводы выпускают древесно-стружечную плиту в основном на карбамидных (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. Максимальные размеры листов конструкционных древесностружечных плит составляют 2500×5000 мм. При необходимости листы могут быть поставлены 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, которые работают 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. 1.1). Для конструктивного применения ЦСП определены дополнительные показатели, указанные в табл. 1.2.

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.

Т а б л и ц а 1 . 1

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 перпенди- кулярно пласту плит	0,40	0,35
Размер плит, мм		
ширина	1200 – 1250	
длина	3200, 3400, 3600	

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/кгС	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

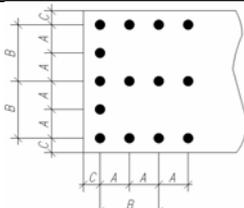
Для применения в несущих конструкциях к прочностным показателям (см. табл. 1.1 и 1.2) должны быть приняты коэффициенты длительной прочности: при растяжении – 0,4; при изгибе – 0,35; при срезе и скалывании – 0,4, а к модулю упругости – 0,4 для растяжения и 0,3 для смятия и изгиба. Умножая на эти коэффициенты, получают расчетные сопротивления и модуль упругости при длительном действии нагрузки.

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

Крепление ЦСП к несущим конструкциям выполняют преимущественно с помощью шурупов и специальных гвоздей. Для крепления плит необходимо использовать винтовые оцинкованные гвозди диаметром от 2,5 мм, длина гвоздя назначается из условия, чтобы защемленная 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. 1.3.

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

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 древесноволокнистых плит, водостойкой фанеры.

СМЛ марки BLANCOBEL получают на основе магнезимального вяжущего, а именно хлорида магния и оксида магния – магнезимального цемента, с добавлением древесной стружки плюс армирование 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. 1.4, 1.5 и 1.6.

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 $S=3 \div 6$ мм для $S > 6$ мм	F 25; F 35 F 50
8	Водопоглощение, %: для $S=3 \div 6$ мм для $S > 6$ мм	25 -35 35 -40
9	Теплопроводность, Вт/(м·°C): для $S=3 \div 6$ мм для $S > 6$ мм	0,316-0,619 0,304-0,316
10	Группа по горючести	НГ (Негорючий)

Т а б л и ц а 1 . 5

Минимальные значения предела прочности СМЛ

Номинальная толщина листа, мм	Предел прочности образцов при изгибе, МПа (кгс/см ²)	
	продольных	поперечных
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)

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. 1.5.

Некоторые другие характеристики СМЛ, включая цены на листы (сложившиеся в 2008 г.), приведены в табл. 1.6.

Т а б л и ц а 1 . 6

Толщина, мм	Размер листа, мм	Масса 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, для устройства межкомнатных перегородок, подвесных потолков, полов, панелей ограждающих конструкций стен, покрытий и перекрытий, а также могут 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 технологии, 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 1250×2500мм и плотностью 600 – 650 кг/м, толщина плит, мм: 10, 12, 15, 18, 22, 25.

Некоторые механические характеристики плит OSB марки KRONOPOL–OSB-3 применяемой при изготовлении ограждающих конструкций приведены в табл. 1.7.

Т а б л и ц а 1 . 7

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

Толщины плит, мм	Плот- ность, кг/м ²	Предел прочности при изгибе пер- пендикулярно к плоскости плит, МПа		Модуль упругости при изгибе пер- пендикулярно к плоскости плит, МПа		Предел прочности при растя- жении, МПа	Набу- хание 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.

Большое преимущество 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 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 шпона 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-й тип – все слои шпона имеют параллельное направление волокон древесины;

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

Основные механические характеристики материала LVL приведены в табл. 1.8.

Т а б л и ц а 1 . 8

Основные характеристики бруса LVL

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателей по типам бруса	
		1-й тип	2-й тип
1	Предел прочности при скалывании по клеевому слою (при кипячении в течении 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

LVL может применяться при строительстве зданий любого назначения, в конструкциях: несущих опор, плит перекрытия, кровельных панелей, несущих балок перекрытий и покрытий, строительных ферм, элементов бетонной опалубки и др.

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

В Скандинавских странах находят применения конструкции из клееной древесины Kerto, разработанной фирмой «Финнфорест» (Финляндия). Клееная древесина Kerto является абсолютным аналогом материала LVL. Она широко применяется в строительстве жилых, общественных и сельскохозяйственных зданиях, 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 (пластины, панели, щиты).

Основные прочностные характеристики и модули упругости клееной древесины Kerto, принимаемые в расчетах, приведены в табл. 1.9.

Габаритные размеры элементов из древесины Kerto и элементов из материала LVL одинаковые.

Т а б л и ц а 1 . 9

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 более 900 мм показатели умножаются на коэффициент $k = 0,885$	

1.2. Древесно-стружечные плиты как материал для несущих панельных конструкций

В решении поставленных задач деревянного домостроения существенную роль должны сыграть древесно-стружечные плиты, которые не только позволяют использовать для их изготовления древесные отходы, образующиеся неизбежно на всех стадиях заготовки и переработки древесины в строительные материалы и изделия, но и дают возможность во многих случаях заменить природную древесину, что сокращает объем лесозаготовок и способствует сохранению окружающей среды благодаря благотворному воздействию на нее лесных насаждений.

Развитие производства древесно-стружечных плит началось в послевоенный период в связи со значительным увеличением объемов строительства. Причем, если в самом начале она использовалась главным образом для изготовления мебели и устройства встроенных шкафов, то в настоящее время древесно-стружечные плиты все в больших масштабах начинают применяться в различных областях строительства, особенно в малоэтажном домостроении. Например, в США, Канаде, Швеции, Финляндии, Англии, Норвегии от 40 до 90 % выпускаемых плит идет на строительство малоэтажных жилых и сельскохозяйственных производственных зданий. В нашей стране использование древесно-стружечных плит в жилищном строительстве получило масштабное развитие в 70–80^е годы прошлого столетия в связи со строительством нескольких заводов, оснащенных импортным оборудованием, по производству полносборных деревянных домов из крупных клееных панелей с обшивочными элементами из древесно-стружечных плит.

С точки зрения использования древесно-стружечных плит в несущих конструкциях большой интерес представляют их физические и механические свойства. Плиты являются дисперсным композиционным материалом, свойства которого существенно зависят от технологии его изготовления. Исследования [33, 49, 48, 55] дают неоднозначные ответы по величинам физико-механических характеристик древесно-стружечных плит, и это естественно, так как исследуются свойства плит, изготавливаемых различными заводами. Но все же по показателям кратковременной прочности и модуля упругости они приближаются к древесине хвойных пород и вполне могут быть использованы в несущих конструкциях деревянных домов. Кроме того, их механические свойства, как показали исследования некоторых авторов, имеют практически одинаковые значения в плоскости плиты. Поскольку древесно-стружечные плиты являются комбинированным композиционным материалом, они могут быть изготовлены с различными характеристиками по плотности, прочности и внешнему виду.

Плитам можно также придать необходимую биостойкость, гидрофобность и огнестойкость.

В связи с этим в современных литературных источниках можно найти неоднозначные расчетные характеристики по прочности и модулю упругости для древесно-стружечных плит.

Древесно-стружечные плиты хорошо склеиваются как по пласти, так и по кромкам, могут быть окрашены или отделаны лакокрасочными материалами, облицованы шпоном, бумагой или пластмассами. Плиты сравнительно легко обрабатываются (пилятся, строгаются, сверлятся, фрезеруются) деревообрабатывающими инструментами и обладают удовлетворительными показателями сопротивления выдергиванию гвоздей и шурупов.

Отмеченные выше свойства древесно-стружечных плит и обуславливают все более широкое их использование в несущих и ограждающих конструкциях.

Важной особенностью в вопросах применения древесно-стружечных плит в малоэтажном деревянном домостроении является то, что элементы и конструкции этих зданий имеют сравнительно невысокий уровень напряженного состояния, что вполне согласуется с теми физико-механическими характеристиками, которыми обладают плиты. Более того, под степень напряженности конструкций проектируемых домов могут быть подобраны и соответствующие марки плит.

1.3. Опыт проектирования и строительства домов с применением древесно-стружечных плит

Панели, выполненные из древесно-стружечных плит, получили широкое распространение в малоэтажном строительстве как для городской, так и для сельской застройки. Отличительными особенностями сельского строительства являются рассредоточенность строящихся объектов на значительной площади, удаленность от крупных баз и необходимость доставки конструкций и деталей на значительные расстояния при отсутствии во многих случаях дорог с твердым покрытием. Кроме того, при небольших объемах работ характерна широкая номенклатура застройки в одном населенном пункте или районе. В этих условиях, как показывает передовой отечественный и зарубежный опыт, положительные результаты могут быть получены, если использовать конструкции из древесно-стружечных плит, что позволит обеспечить высокую сборность, транспортабельность конструкций и вместе с тем значительно повысить при определенных условиях индустриальность строительства, существенно сократить сроки строительства.

В городской застройке деревянные индивидуальные жилые дома (называемые на современный лад коттеджами) вполне могут не только

конкурировать с традиционными домами из кирпича и бетона, но и способствовать существенному снижению стоимости одного квадратного метра площади, сокращению сроков строительства.

Древесно-стружечные плиты в малоэтажном строительстве стали применяться сравнительно недавно. При строительстве жилых зданий в качестве обшивочного материала в основном использовали строительную фанеру. Позднее стали использовать твердые и сверхтвердые древесноволокнистые плиты и только в последнее время – древесно-стружечные и цементно-стружечные плиты, а также плиты OSB. Все названные древесно-плитные материалы выполняют роль обшивок в каркасных панелях зданий.

Размах жилищного строительства, в том числе и в сельской местности, вызвал переход на индустриальные методы возведения зданий из панельных конструкций, что позволило ускорить и снизить трудоемкость строительства. Опыт отечественного и зарубежного строительства последних лет выявил разнообразие конструкций панелей с обшивками из древесно-стружечных плит. Эти конструкции представлены на рис. 1.1. Основным видом конструктивного решения панелей является каркас, обшитый с обеих сторон древесно-стружечной плитой, внутреннее пространство панели заполняют различными утеплителями (см. рис. 1.1а, б). Другим вариантом конструктивного решения панелей с мягким утеплителем является так называемая бескаркасная панель, разработанная шведской фирмой «Чер» (рис. 1.1в). В отличие от предыдущего решения здесь нормальные усилия воспринимаются в основном обшивками из древесно-стружечных плит, соединенными между собой на клею ортогонально расположенными ребрами, изготовленными из такой же плиты и установленными вдоль и поперек панели. Перспективными являются панели, схемы которых изображены на рис. 1.1г, д, е. Они разработаны в результате комплексного подхода к решению целого ряда проблем малоэтажного домостроения на базе древесно-плитных материалов. Несущие элементы панелей выполнены из пиломатериалов или представляют собой комбинацию древесины с некоторыми видами древесных плит. Такое решение основано на том, что из всех древесных материалов цельная древесина обладает наибольшей сопротивляемостью длительным нагрузкам и лучшей обрабатываемостью, в особенности по кромкам и торцам, что важно с точки зрения простоты и надежности соединений отдельных элементов панелей друг с другом. Кроме того, несущий каркас из пиломатериалов позволяет снизить в определенной мере ползучесть и стабилизировать длительную прочность древесных плит.

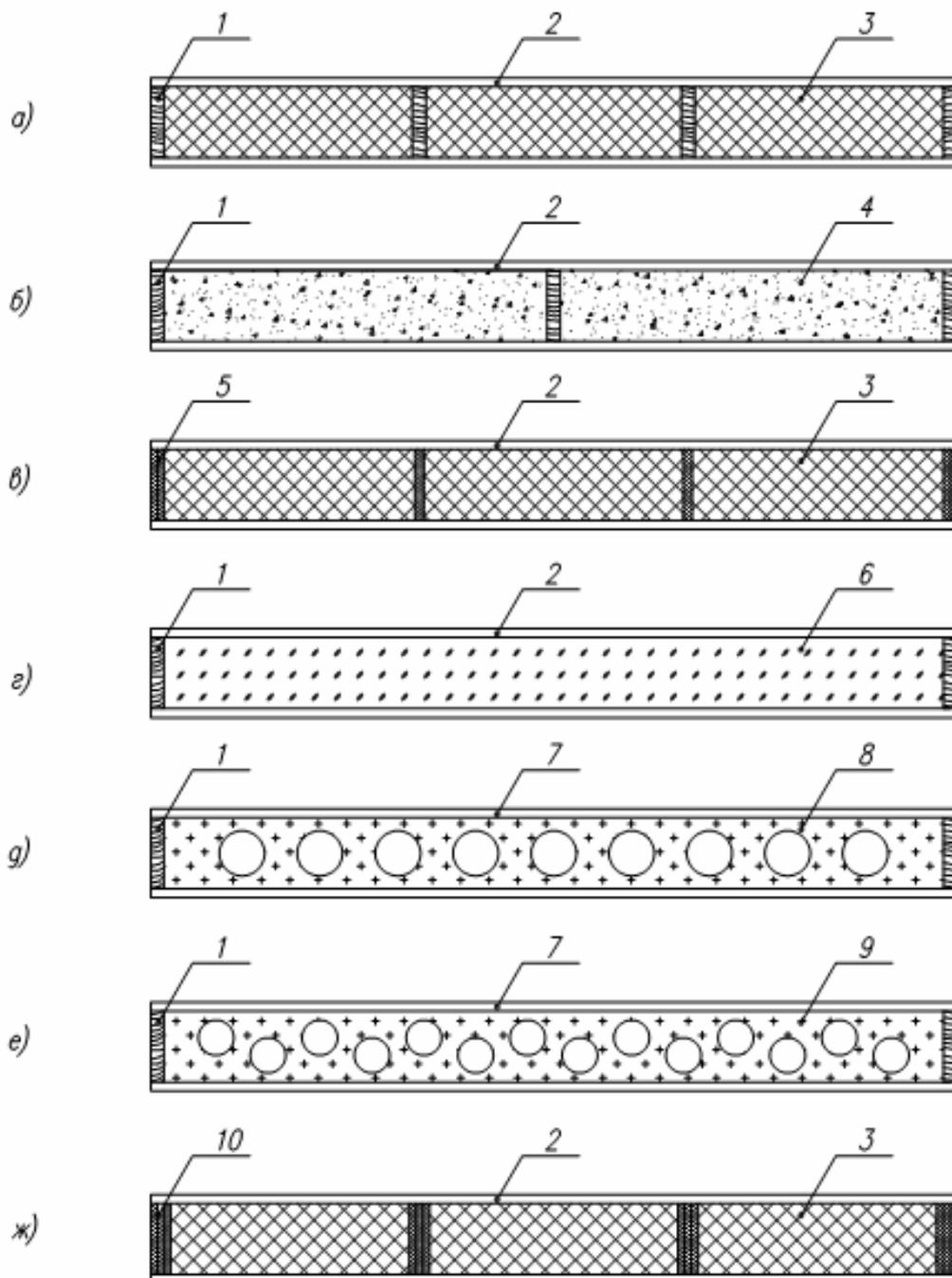


Рис. 1.1. Схемы панельных конструкций на основе древесно-стружечных плит:
 а – с деревянным каркасом и мягким утеплителем; б – то же и заполнителем из пенопластов; в – бескаркасная с мягким утеплителем; г – с деревянным каркасом и заполнителем на основе древесных частиц с синтетическим связующим; д – то же и с заполнителем из древесно-стружечных плит экструзионного прессования с большого диаметра; е – то же с незаполненными пустотами малого диаметра;

- ж – с комбинированными ребрами и мягким утеплителем;
 1 – деревянный каркас; 2 – обшивка из древесно-стружечной плиты;
 3 – утеплитель; 4 – пенопласт; 5 – ребра из древесно-стружечной плиты;
 6 – заполнитель из осмоленных древесных частиц; 7 – обшивка из ДВП;
 8 – плита экструзионного прессования с крупными заполненными пустотами;
 9 – то же с мелкими незаполненными пустотами; 10 – комбинированные ребра

Основными направлениями в совершенствовании конструкций деревянных панельных домов является снижение расхода деловой древесины. Расход высокосортного пиломатериала в деревянных панельных домах, выпускаемых отечественной промышленностью, составляет 0,4–0,6 м³/м² общей площади дома, в то время как в домах зарубежных фирм расход доведен до 0,2–0,3 м³/м² [48]. Требования экономии топливно-энергетических ресурсов ведут к увеличению толщины ограждающих конструкций и соответствующему увеличению сечений каркаса панелей. В этих условиях экономия древесины может быть достигнута за счет изменения конструкций каркаса панелей и замены элементов из цельной древесины клееными комбинированными ребрами. Для сокращения теплопотерь через ограждающие конструкции зданий без увеличения толщины панелей можно использовать в качестве утеплителя плитные или заливочные пенопласты (см. рис. 1.16). Исследования конструкций панелей с комбинированными ребрами, проведенные ЦНИИСК им. Кучеренко, ВНИИДревом, Пензенским ГУАС и другими организациями, показали, что расход древесины при применении таких ребер может быть сокращен до 40 %. Клееные комбинированные ребра двутаврового или коробчатого сечения состоят из деревянных брусков и стенок, изготовленных из древесно-стружечных или древесноволокнистых плит (рис. 1.1ж).

Как показывает анализ зарубежных источников, заводское производство панельных жилых домов получило широкое распространение в первую очередь в Швеции, Финляндии, Германии, США и Канаде.

Малоэтажное деревянное домостроение в Швеции характеризуется высокой степенью механизации и автоматизации технологических процессов и высоким качеством выпускаемой продукции. В Швеции развивается два вида панельного домостроения: мелкопанельное – для нужд индивидуальных застройщиков и крупнопанельное – для нужд государственного и кооперативного строительства жилых массивов. Конструкции панельных домов характеризуются высокой степенью заводской готовности и низкой (0,16–0,2 м³/м² полезной площади) древесиномемкостью, которая достигается за счет широкого применения древесно-плитных материалов.

Деревянные дома заводского изготовления в Финляндии выпускает ряд домостроительных фирм: «Херрала», «Пуутало», «Енсо-Гудцайт», «Ваая» и др. Дома отличаются разнообразием архитектурно-планировочных решений, количеством комнат, наличием подвалов, пристроенных гаражей и других помещений. Конструкции домов мелкопанельные и крупнопанельные. Панельные дома, которые спроектированы для северных климатических условий Финляндии, пригодны и для соответствующих районов России.

Промышленное производство деревянных домов в Финляндии имеет многолетние традиции. В нашей терминологии уже давно бытует фраза «финские дома». Дополнением к этому сегодня можно отнести то, что на

рынке финского жилья появились деревянные дома повышенной этажности (до 5-ти этажей). Индустрия деревянного домостроения в Финляндии такова, что систему, степень промышленной готовности, вид отделки и многие другие параметры дома можно выбирать в соответствии с типом объекта и имеющимися рабочими ресурсами. Заказчику предоставляется выбор варианта типа дома в виде легких, удобно транспортируемых элементов и деталей или укрупненных панелей и конструкций. Кроме типа дома при выборе системы принимается во внимание технология его монтажа. Каркас здания сооружается на строительной площадке из конструкций заводского изготовления. Деревянный каркас обшивают гипсокартонными или гипсоволокнистыми плитами в сочетании с минеральной ватой, что повышает огнестойкость конструкций и создает необходимые теплозащитные свойства.

Самой низкой степенью готовности считается поставка унифицированных деталей дома на строительную площадку с последующей их сборкой. Самой высокой степенью готовности обладают окрашенные крупнопанельные панели с уже смонтированной электропроводкой. В этом случае на строительной площадке осуществляются лишь монтаж панелей, доводка отделки, дополнительная изоляция и подводка внешних коммуникаций.

Типовые деревянные конструкции пригодны не только при строительстве жилых домов, но и объектов социальной сферы.

В Финляндии вопросы технологии древесины и жилищного строительства поставлены на уровень правительственной программы, так как древесина является местным сырьевым материалом, а деревообрабатывающие предприятия – это источник национального дохода и обеспечения населения рабочими местами. Благодаря высокому уровню механизации в лесной промышленности и повышенной степени заводской обработки деревянных изделий, изготовленных на основе передовой современной технологии, существенно возрос экспорт деревянных конструкций и домов из Финляндии во многие страны мира.

В Германии панельное домостроение начало применяться с 1936 года, занято в нем около 70 фирм. Основные фирмы «Штрайф», «Окал», «Нордхаус». Конструктивные материалы: каркас – деревянные бруски; заполнитель – минераловатные плиты; обшивка панелей – древесно-стружечные, древесноволокнистые, гипсокартонные плиты; наружные панели с внешней стороны облицовываются асбестоцементными плитами. Панели склеиваются в горячих прессах, где их выдерживают около 30 минут. Монтаж дома на площадке ведется бригадой, состоящей из 5 человек и 1 крановщика, за 8 часов, а через 5-6 дней, после выполнения отделочных работ, заказчик по акту принимает дом полной готовности. Опыт проектирования, заводского изготовления и строительства панельных домов, накопленный в Германии, целесообразно использовать в отечественном полносборном домостроении.

Объем малоэтажного жилищного строительства на основе древесных материалов в США и Канаде составляет более 1,8 млн квартир и растет с каждым годом. Одним из факторов, стимулирующих широкое применение жилых домов на основе древесины, является то, что на производство пиломатериалов расходуется значительно меньше энергии и топлива, чем на производство многих других строительных материалов, и, соответственно, стоимость их ниже. На домостроительных предприятиях изготавливают в основном одноквартирные двухэтажные дома. Предприятия, выпускающие дома, как правило, сами их и строят. Радиус обслуживания – 200-250 миль. Доставку деталей домов к месту строительства производят только автотранспортом, в полном комплекте на дом.

Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации малоэтажных домов заводского изготовления с применением древесно-стружечных плит показывает, что эти дома могут служить продолжительное время. Непременными условиями длительного срока службы деревянных панельных домов являются: строительство на бетонных или бутобетонных фундаментах; правильное решение ограждающих конструкций, исключающее возможность загнивания; применение эффективных облицовочных и изоляционных материалов; тщательное выполнение строительно-монтажных и отделочных работ; правильная эксплуатация домов и проведение профилактических ремонтов.

Ярким образцом отечественного полносборного деревянного домостроения долгие годы служил Пензенский комбинат полносборного деревянного домостроения (р.п. Чаадаевка, Пензенская область). Комбинат выпускал в годы своего существования 5–6 домов в сутки (1300–1400 домов в год). Причем дом поставлялся на объект в полной заводской готовности, включая чистую отделку и установку инженерного оборудования, а сам монтаж дома выполнялся за одни сутки монтажной бригадой в 5 человек. По заказу потребителя дома поставлялись с мансардной надстройкой или без нее, т.е. могли располагать 3-мя или 5-ю комнатами, дом «под ключ» сдавался за 4–6 дней.

К сожалению, несмотря на огромные лесосырьевые ресурсы и на то, что в ряде регионов нашей страны лес является местным строительным материалом, сегодня мы не можем что-либо противопоставить мощному развитию индустриального деревянного домостроения в рассмотренных выше странах. Можно отметить лишь некоторые сдвиги в освоении возведения малоэтажных зданий по каркасно-платформенному методу, используемому в Канаде и Скандинавских странах.

Полносборный индустриальный деревянный дом собирается из небольшого числа крупных панелей (рис. 1.2). Панели перекрытий в конструктивном отношении представляют собой ребристую систему с несущими продольными ребрами, конструктивными поперечными ребрами и двумя

обшивками. Стеновые панели, наоборот, имеют поперечные несущие ребра и конструктивные в другом направлении. Несущие ребра выполнены из древесины, а обшивки – из древесно-стружечной плиты. Обшивки и ребра соединяются между собой на клею. В основе изготовления панелей лежит шведская технология, основанная на автоматизированном процессе. Ввиду ограниченности размеров древесно-стружечных плит, выпускаемых отечественными заводами, обшивки по длине панелей имеют стыки. Стыки выполняются на клею в виде клиновидного соединения. Несущие ребра панелей перекрытий также имеют по длине стыки, выполненные впритык с накладками на клею. Панели наружных стен с внешней стороны имеют экран из плоских асбестоцементных листов. Вся внутренняя отделка дома выполняется на заводе.

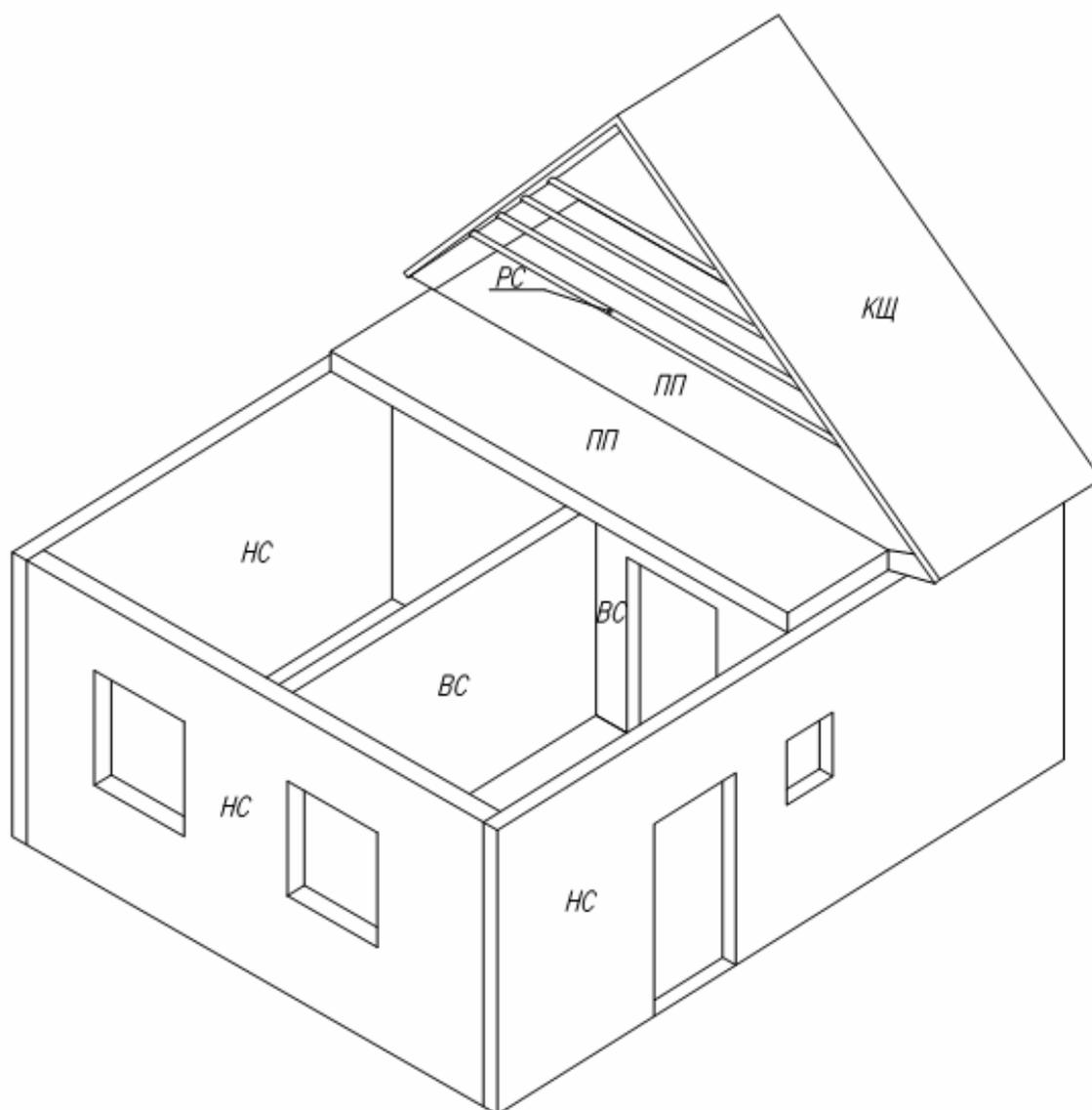


Рис. 1.2. Общая конструктивная схема полносборного крупнопанельного дома: НС – наружная стенная панель; ВС – внутренняя стенная панель; ПП – панель перекрытия; РС – ригель-распорка; КЩ- кровельный щит

Весь дом представляет собой сравнительно жесткую пространственную систему, собирается на ленточном фундаменте, поверх которого уложена сборная или монолитная железобетонная плита.

Отечественный и зарубежный опыт проектирования и изготовления полносборных домов показывает, что древесно-стружечные плиты с успехом могут использоваться в панелях малоэтажных домов. Зарубежный опыт применения деревянных панелей (Канада, Швеция, Англия, Финляндия) показывает практическую целесообразность и экономическую выгоду от их использования при строительстве домов до 7 этажей. Применение их в деревянном панельном домостроении позволяет решить следующие важные задачи:

- свести к минимуму расход высококачественной древесины;
- значительно увеличить габаритные размеры строительных элементов сборных деревянных домов при одновременном уменьшении их массы, что дает возможность максимально механизировать и автоматизировать технологические процессы изготовления, доставки на стройплощадку и монтажа строительных элементов;
- повысить степень сборности и заводской готовности деревянных домов, а также значительно улучшить их основные эксплуатационные и архитектурно-строительные качества;
- обеспечить максимальную унификацию строительных элементов для деревянных панельных домов;
- повысить долговечность домов за счет оптимизации конструктивных решений строительных элементов и проведения их антисептической и противопожарной обработки, выполняемой преимущественно на стадии заводского изготовления.

1.4. Проблемные задачи в дальнейшем развитии деревянного домостроения с применением древесно-стружечных плит

Применение древесно-стружечных плит в панельном домостроении, несмотря на ряд положительных качеств, значительно сдерживается из-за наличия нерешенных проблем, к важнейшим из которых следует отнести:

- отсутствие величин расчетных характеристик древесно-стружечных плит, выпускаемых на отечественном и импортном оборудовании, а также положений и норм по расчету и проектированию конструкций с применением указанных древесно-стружечных плит;
- несовершенство действующих ГОСТов на древесно-стружечные плиты и нарушение их требований по качеству плит заводами-изготовителями;
- отсутствие возможности заказа древесно-стружечных плит по их назначению, исходя из их физико-механических характеристик, в том

числе плит конструкционных с повышенными требованиями к физико-механическим показателям;

– отсутствие рационального подхода к индивидуальному использованию плит определенного качества при проектировании домов с разным функциональным назначением;

– необходимость создания творческих коллективов проектировщиков, привлекаемых к разработке оптимальных комбинированных конструкций на основе дерева и древесно-плитных материалов.

В целях обеспечения возможности широкого применения древесно-стружечных плит в несущих строительных конструкциях, и в первую очередь в панелях малоэтажных жилых домов, необходимо решить следующие задачи:

– исследовать механические свойства древесно-стружечной плиты, выпускаемой на отечественном и импортном оборудовании. Получить при этом достоверные показатели характеристик при растяжении, сжатии и изгибе и доказать, что она может быть отнесена к конструкционным материалам, способным совместно с другими материалами воспринимать существенную долю усилий в элементах несущих панелей дома;

– исследовать напряженно-деформированное состояние элементов несущих клееных панелей с применением древесно-стружечных плит;

– теоретически и экспериментально определить усилия и деформации в элементах несущих ребристых панелей и дать рекомендации по их определению и учету в процессе проектирования конкретных панельных конструкций дома;

– разработать практические методы расчета ребристых клееных панелей с применением древесно-стружечных плит;

– осуществить поиск оптимальных конструктивных решений панелей для полносборных деревянных домов, исходя из требований экономичности и технологичности их изготовления;

– разработать прочностные требования к древесно-стружечной плите как к несущей обшивке панели полносборного деревянного дома.

На решение указанных проблемных задач были направлены выполненные авторами исследования конкретных конструкций панелей полносборных домов, их натурные испытания и разработанные на основе этого практические рекомендации по рациональному использованию такого доступного и недорогого материала, как древесно-стружечная плита.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Основной целью механических испытаний является определение характеристик древесно-стружечных плит, необходимых при расчете конструкций с их применением, а также оценка возможности их использования не только как отделочного, но и как конструкционного материала для изготовления несущих элементов панелей малоэтажного домостроения.

Предлагаемый материал может быть полезен также как методическая основа для получения нормативных и расчетных характеристик древесно-плитных материалов при разработке норм и правил проектирования.

Несмотря на то что в литературных источниках [23, 45, 55] приводятся расчетные характеристики древесно-стружечных плит, многие из них значительно отличаются друг от друга, а конкретные нормативные рекомендации по практическому применению их в расчетах отсутствуют. Такие расхождения в величинах расчетных характеристик естественны, так как они получены на основе исследований отдельных партий плит, выпускаемых тем или иным предприятием с той или иной технологией.

Проводились исследования механических свойств древесно-стружечных плит, выпускаемых Пензенским домостроительным комбинатом и предназначенных для изготовления несущих панелей полносборных домов. Комбинат оснащен высокомеханизированными технологическими линиями фирмы «Бизон» (Германия), которые позволяют изготавливать крупноформатные плиты размером в плане 2500х5000 мм. В связи с этим необходимо было учесть влияние технологического и размерного факторов на качество и механические свойства выпускаемых плит, используемых в качестве конструкционного материала для несущих клееных панелей.

Исследования проводились с учетом требований имеющихся ГОСТов, а при их отсутствии – с учетом рекомендаций ведущих научных организаций, занимающихся исследованиями древесно-плитных материалов, и различных методических материалов.

При исследовании свойств листовых материалов крупнодисперсной структуры важным моментом является выбор способа раскрытия листов на образцы. Как правило, ввиду повышенной неоднородности структуры материала по площади листа механические свойства их могут колебаться в достаточно широких пределах.

Учитывая сказанное, образцы выбирали из трех участков листа по его ширине и длине. При этом на каждом участке они выбирались как вдоль длины листа, так и поперек его с той целью, чтобы выявить степень возможной анизотропии материала, проявляющуюся в различии механических характеристик в плоскости листа. На каждом участке выбирались заготовки для изготовления образцов по определению пределов прочности при сжатии, растяжении и изгибе, а также определению модулей упругости при сжатии, растяжении и изгибе. Из каждого листа древесно-стружечной

плиты, кроме того, выбирались образцы согласно [45] для определения пределов прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты и при изгибе. Количество испытанных образцов приведено в табл. 2.2, здесь же дается оптимальное количество образцов для получения данных исследования с обеспеченностью 99 %, которое определялось согласно [32]. Схема раскроя листа древесно-стружечной плиты на заготовки показана на рис. 2.1, а схема выборки образцов из заготовки – на рис. 2.2.

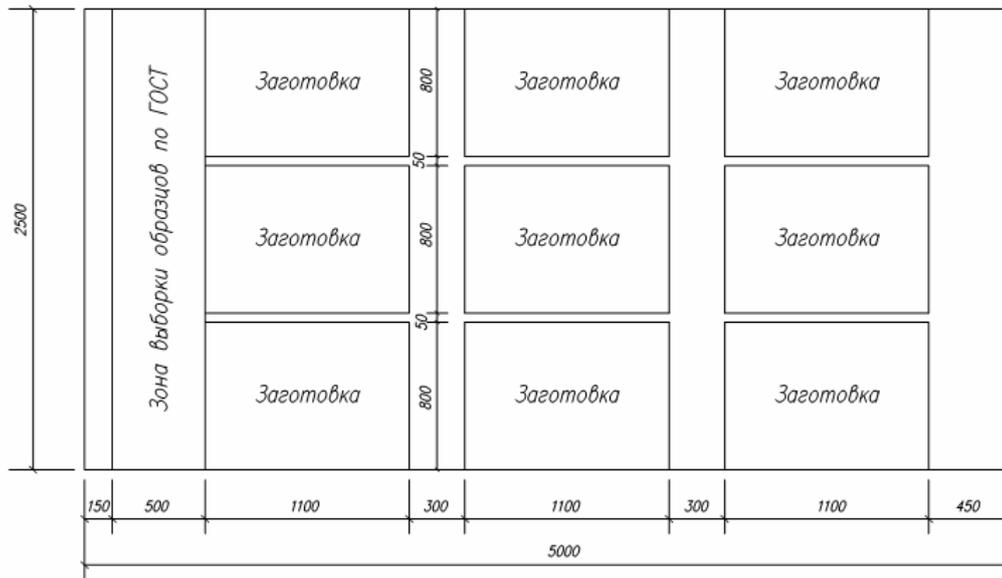


Рис. 2.1. Схема выборки заготовок из листа древесно-стружечной плиты

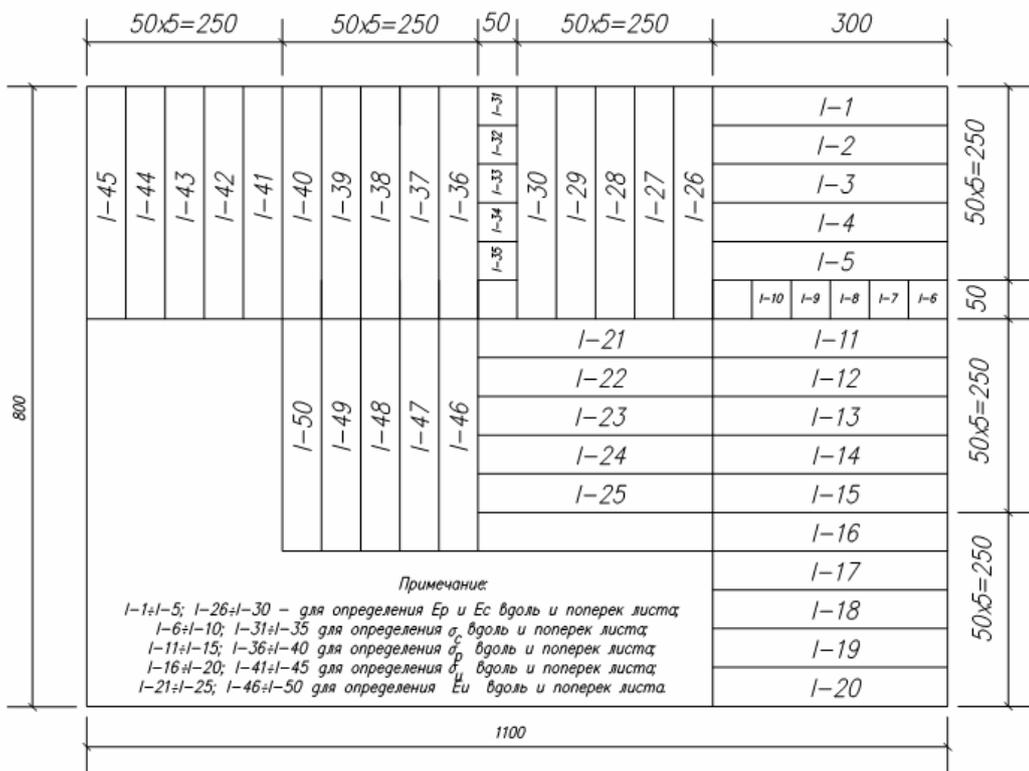


Рис. 2.2. Схема выборки образцов из заготовки

2.1. Определение предела прочности при сжатии

Ввиду отсутствия ГОСТа на определение предела прочности древесно-стружечных плит при сжатии, испытания проводились по разработанной ниже методике, в основе которой учтены рекомендации ЦНИИСК им. Кучеренко и ВНИИДрев, а также основные положения ГОСТ 10633–78 «Плиты древесно-стружечные. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний».

Образцы для определения предела прочности при сжатии были приняты в форме прямоугольного бруска, имеющего размеры $50 \times 50 \times \delta$ мм; где δ – толщина древесно-стружечной плиты. Указанные размеры образца позволяли получать сравнительно осредненную картину его напряженного состояния при равномерном сжатии и, кроме того, давали возможность гарантировать достаточную однородность материала, исходя из его дисперсной структуры. Ширину и толщину образцов измеряли посередине его длины с точностью до 0,1 мм. Результаты измерений и испытаний заносились в журнал испытаний (форма журнала испытаний приведена в табл. 2.1).

Т а б л и ц а 2 . 1

Журнал испытаний

Марка образца	Размеры поперечного сечения			$P_{\text{разр}}$ (кН)	σ (МПа)
	длина l (м)	ширина b (м)	Толщина δ (м)		
1	2	3	4	5	6

Испытания проводились по схеме, изображенной на рис. 2.3.

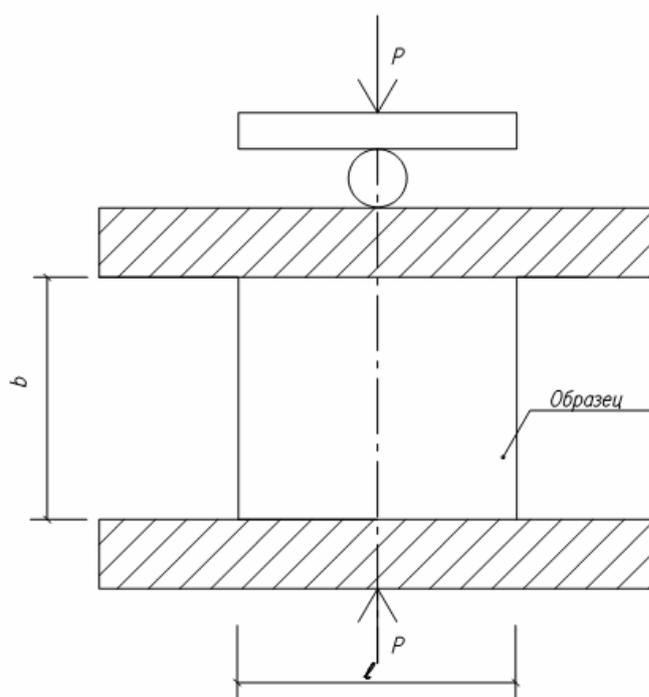


Рис. 2.3. Схема испытания образцов для определения предела прочности при сжатии

Таблица 2.2

Результаты статистической обработки испытаний
по определению пределов прочности древесно-стружечной плиты

Вид испытаний	Направление усилий (относительно листа)	Влажность W , %	Требуемое количество образцов с обеспеченностью $\alpha=0,99$ или 99 %, шт.	Статистические величины						Примечание
				n , шт.	\bar{X} , МПа	S , МПа	V , %	m , МПа	p , %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сжатие	по длине	9,0	50	164	17,0	2,54	14,93	0,20	1,17	Выборка производилась по схеме рис. 2.2
	по ширине	9,0	0	144	16,15	2,16	13,38	0,18	1,12	
Растяжение	по длине	9,0	40	107	10,96	1,30	11,18	0,12	1,15	— »—
	по ширине	9,0	40	101	8,88	0,76	8,60	0,07	0,86	
Изгиб	по длине	9,0	25	58	24,45	2,47	10,10	0,32	1,33	— »—
	по ширине	9,0	25	55	17,92	1,20	6,69	0,16	0,90	
Изгиб	по длине	9,0	25	808	23,03	0,27	11,84	0,01	0,42	Выборка производилась по [45] смола КФСомТ КФМТ
	по ширине	9,0	25	336	22,10	0,29	12,94	0,02	0,71	
Растяжение ⊥ пласти	по длине	9,0	200	808	0,49	0,01	28,86	0,001	1,02	— »— КФСомТ — »— КФМТ
	по ширине	9,0	200	336	0,48	0,01	31,58	0,001	1,72	

Испытываемый образец устанавливался строго по оси прикладываемой нагрузки. Скорость нагружения принималась равной 10 мм/мин. Испытания доводились до разрушения образца. Величина разрушающей нагрузки заносилась в журнал испытаний.

Предел прочности при сжатии определялся с точностью до 1 МПа по формуле

$$\sigma_c = \frac{P_{\text{разр}}}{b \cdot \delta},$$

где $P_{\text{разр}}$ – величина разрушающей нагрузки, кН;

b – ширина образца, м;

δ – толщина образца, м.

Для испытаний было изготовлено 308 образцов, из которых 164 образца были взяты вдоль длины листа древесно-стружечной плиты и 144 образца – поперек листа. Результаты испытаний обрабатывались методами математической статистики согласно [45].

Были подсчитаны основные статистические характеристики: среднеарифметическая величина (\bar{X}), среднеквадратичное отклонение (S), коэффициент вариации (V), средняя ошибка (m), показатель точности (p).

Результаты статистической обработки полученных экспериментальных результатов приведены в табл. 2.2.

2.2. Определение предела прочности при растяжении

В настоящее время отсутствует ГОСТ на определение предела прочности древесно-стружечной плиты при растяжении. Очевидно, это связано с большими трудностями в выборе оптимального размера образца и в проведении самих испытаний на упрощенных образцах, используемых до сих пор многими исследователями. На основе анализа проделанных ранее работ для испытаний были приняты образцы упрощенной формы в виде прямоугольного бруска размером $300 \times 50 \times \delta$ ($\ell \times b \times \delta$), где ℓ – длина, b – ширина и δ – толщина образца. Такая форма и размеры образца могли бы устраивать испытателя по многим параметрам за исключением одного. При отсутствии рабочей шейки в образцах многие образцы разрываются за пределами рабочей зоны. Чаще всего ввиду неравномерности распределения напряжений разрыв образца происходит в захватах. Это искажает истинную картину работы образца, а следовательно, дает несколько заниженную величину предела прочности. В дальнейшем при подсчете величины предела прочности древесно-стружечной плиты для обработки результатов испытаний учитывались лишь те образцы, разрушение которых наблюдалось в пределах рабочей зоны образца. Образцы, разор-

вавшиеся в захватах, при обработке не учитывались. Характер разрушения образцов показан на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Общий вид разрушения образцов

Ширина и толщина образца замерялись в середине длины образца с точностью до 0,1 мм. Результаты измерений заносились в журнал испытаний.

Испытываемый образец тщательно устанавливался в испытательную машину. Нагружение осуществлялось со скоростью 10 мм/мин до разрушения образца. Величина разрушающей нагрузки записывалась в журнал испытаний.

Предел прочности при растяжении определялся с точностью до 1 МПа по формуле

$$\sigma_p = \frac{P_{\text{разр}}}{b \cdot \delta},$$

где $P_{\text{разр}}$ – величина разрушающей нагрузки, кН;

b – ширина образца, м;

δ – толщина образца, м.

Полученные результаты испытания заносились в журнал испытаний (форма приведена в табл. 2.1), после чего они подвергались статистической

обработке методами математической статистики согласно требованиям [45]. Было испытано 208 образцов, в том числе 107 образцов, вырезанных в продольном направлении листа, и 101 образец – в поперечном направлении. Результаты статистической обработки приведены в табл. 2.2.

2.3. Определение предела прочности при изгибе

Предел прочности при изгибе для древесно-стружечных плит определялся согласно требованиям [45]. Для испытаний брались образцы размером $300 \times 50 \times \delta$ ($l \times b \times \delta$), где l – длина, b – ширина, δ – толщина образца. Испытания образцов проводились по схеме (рис. 2.5) согласно требованиям [45].

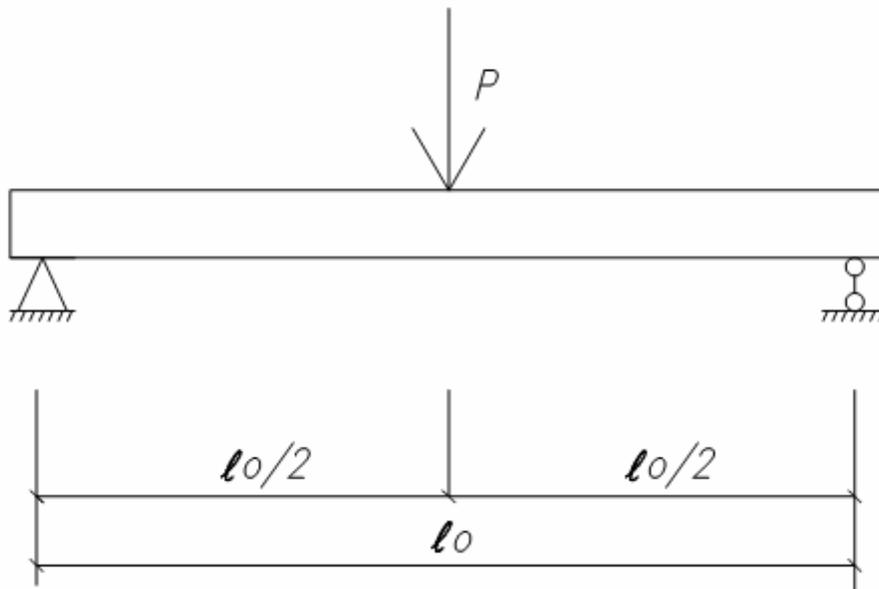


Рис. 2.5. Схема испытания образцов

По полученным величинам разрушающих нагрузок предел прочности при изгибе определялся по формуле

$$\sigma = \frac{3P_{\text{разр}} \cdot l_0}{2 \cdot b \cdot \delta^2},$$

где $P_{\text{разр}}$ – величина разрушающей нагрузки, кН;

l_0 – расстояние между опорами образца в испытательной машине, м;

b – ширина образца, м;

δ – толщина образца, м.

Было испытано 113 образцов, выборка которых производилась по схемам, приведенным на рис. 2.1 и 2.2, из которых 58 образцов вырезались

в продольном направлении, а 55 – в поперечном (по отношению к листу древесно-стружечной плиты). Эти данные обработаны статистически, результаты вычислений приведены в табл. 2.2.

Помимо испытаний образцов, взятых из листа согласно рис. 2.1 и 2.2, проводилась работа по определению предела прочности древесно-стружечной плиты при изгибе на образцах, взятых из листа согласно [45]. Результаты этих испытаний были использованы для выявления стабильности технологического процесса при выпуске древесно-стружечных плит, поскольку эти испытания проводились регулярно по каждой партии плит. С этой целью проведена статистическая обработка результатов испытаний. Отбор образцов и обработка результатов испытаний осуществлялся выборочно по партиям, сменам, месяцам, видам смол и общая. Для выявления закона распределения случайных величин строились гистограммы. Общий вид гистограмм показан на рис. 2.6 и 2.7. Нетрудно заметить, что случайные искомые величины носят характер, близкий к нормальному закону распределения. Это дает основание использовать для статистической обработки формулы, рекомендуемые [45].

При выявлении стабильности технологического процесса интерес представляют значения среднеарифметической величины и вариационного коэффициента. Изменение этих величин для исследуемых плит показано на графиках (рис. 2.8–2.11), по которым можно заметить, что качество выпускаемой плиты сравнительно стабильное, средний показатель прочности плиты в течение года меняется от 21,88 до 23,59 МПа, а вариационный коэффициент (C_V) при этом колеблется от 8,85 до 11,24 %.

Статистическая обработка всех испытанных образцов дала результаты (см. табл. 2.2) $\bar{X} = 23$ МПа, а $C_V = 11,8$ % – для древесно-стружечной плиты на смоле КФсомт и $\bar{X} = 22$ МПа, а $C_V = 12,9$ % – для древесно-стружечной плиты на смоле КФмт.

2.4. Определение предела прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты

Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты определялся согласно требованиям [45].

Изготовление, отбор и определение количества образцов производились в соответствии с требованиями [45]. Для испытаний принимались образцы размером $50 \times 50 \times \delta$ ($l \times b \times \delta$), где l – длина, b – ширина и δ – толщина образца. Испытание образцов производилось по схеме, изображенной на рис. 2.12.

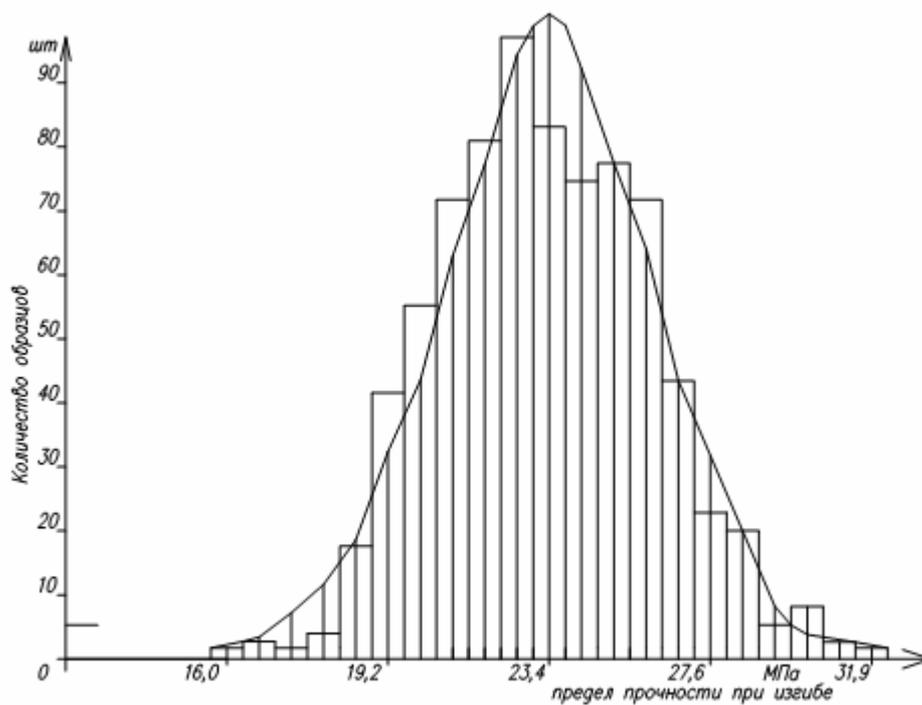


Рис. 2.6. Гистограмма распределения предела прочности при изгибе ДСП на смоле КФСомт

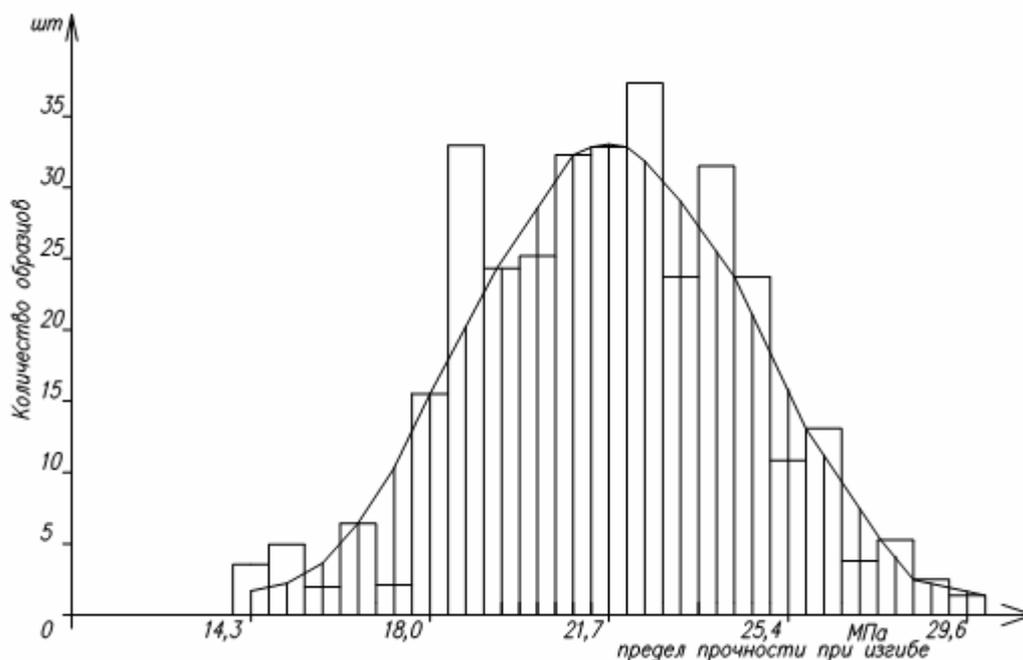


Рис. 2.7. Гистограмма распределения предела прочности при изгибе ДСП на смоле КФмт

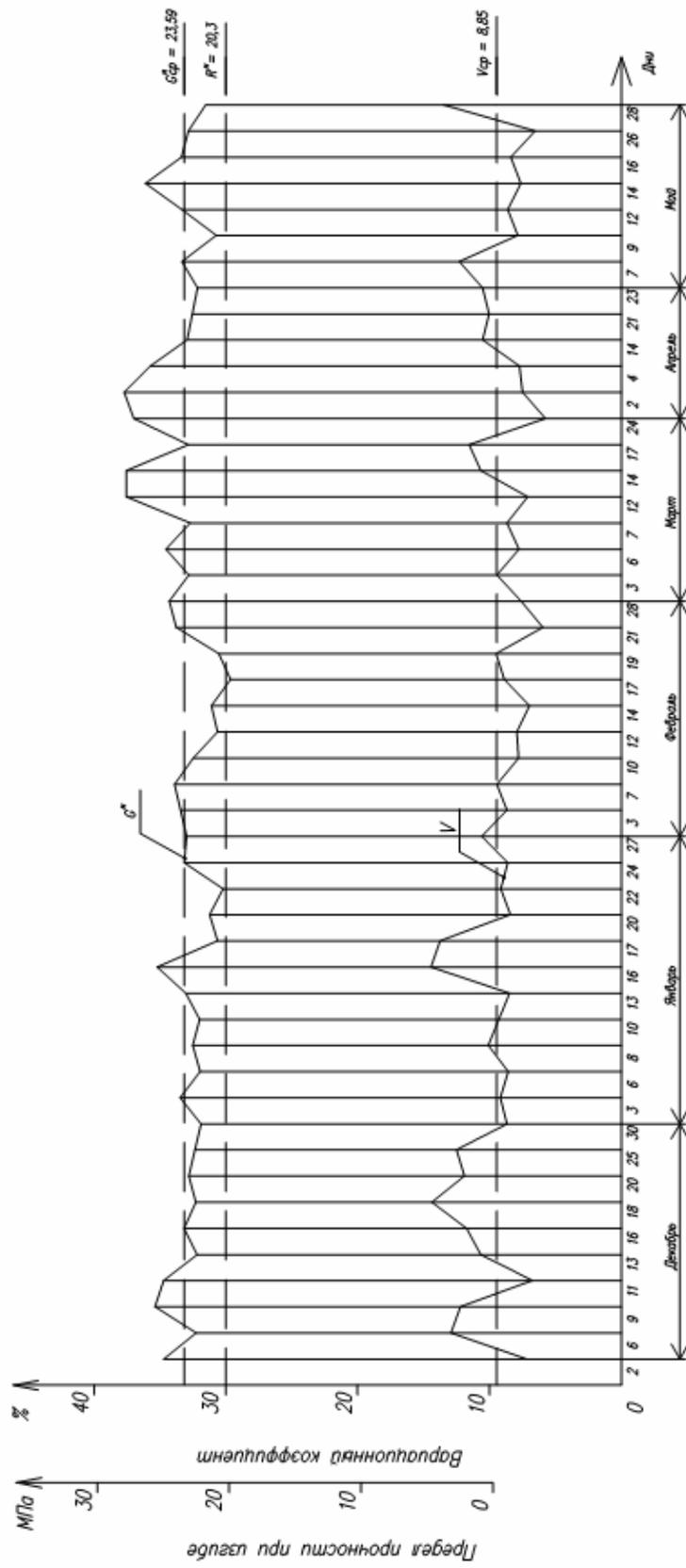


Рис. 2.8. Графики изменения предела прочности ДСП и вариационного коэффициента при изгибе по дням (смола КФСомт)

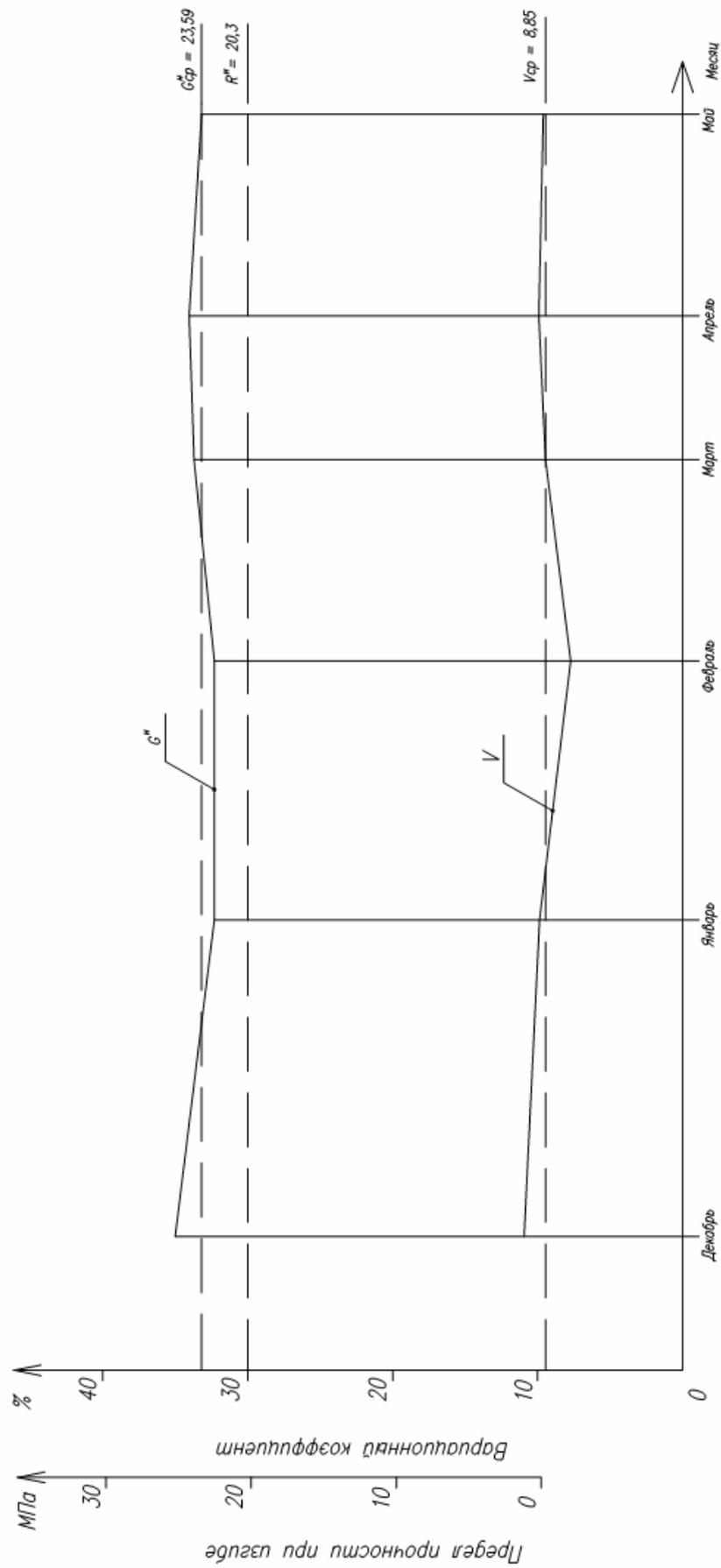


Рис. 2.9. Графики изменения предела прочности ДСП и вариационного коэффициента при изгибе по месяцам (смола КФСомТ)

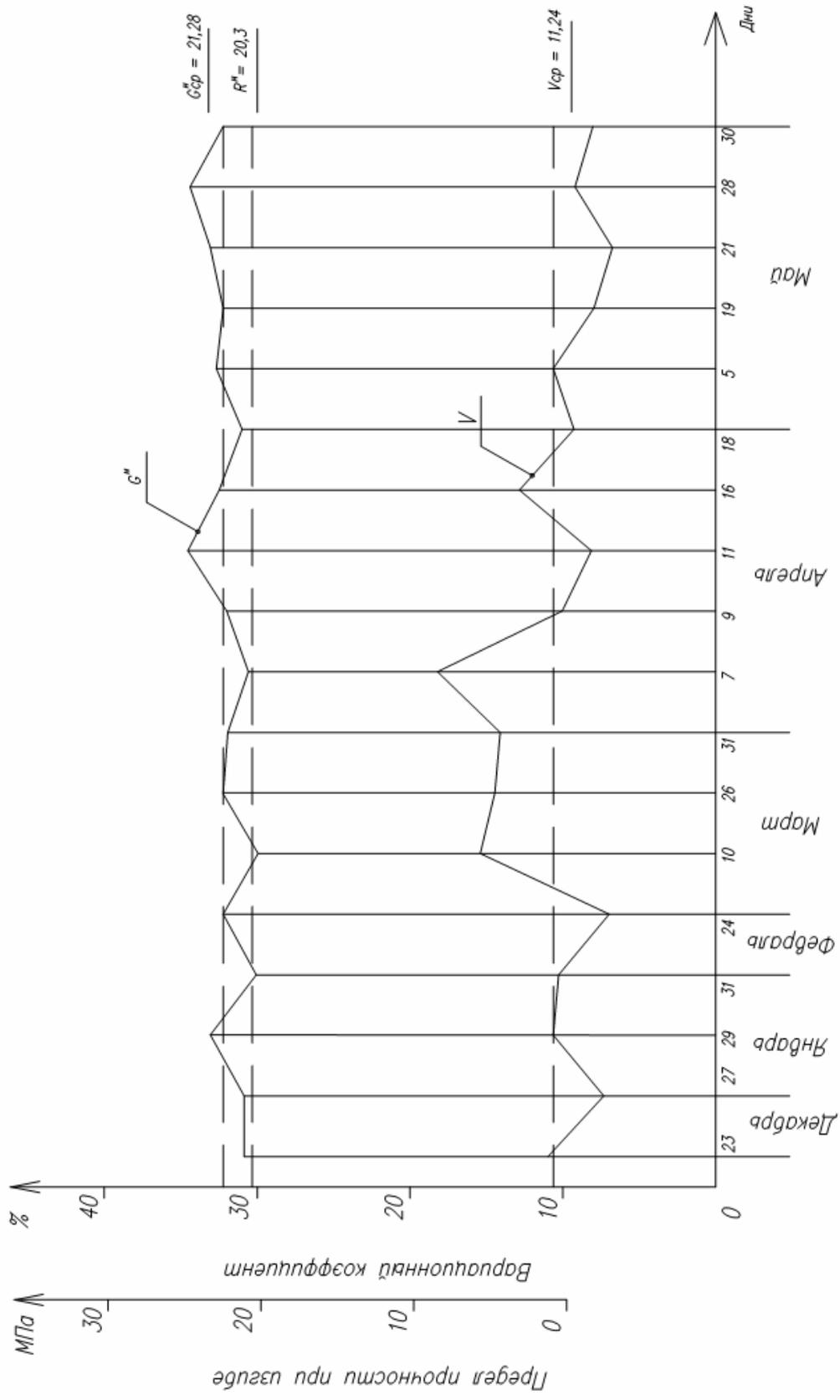


Рис. 2.10. Графики изменения предела прочности ДСП и вариационного коэффициента при изгибе по дням (смола КФМТ)

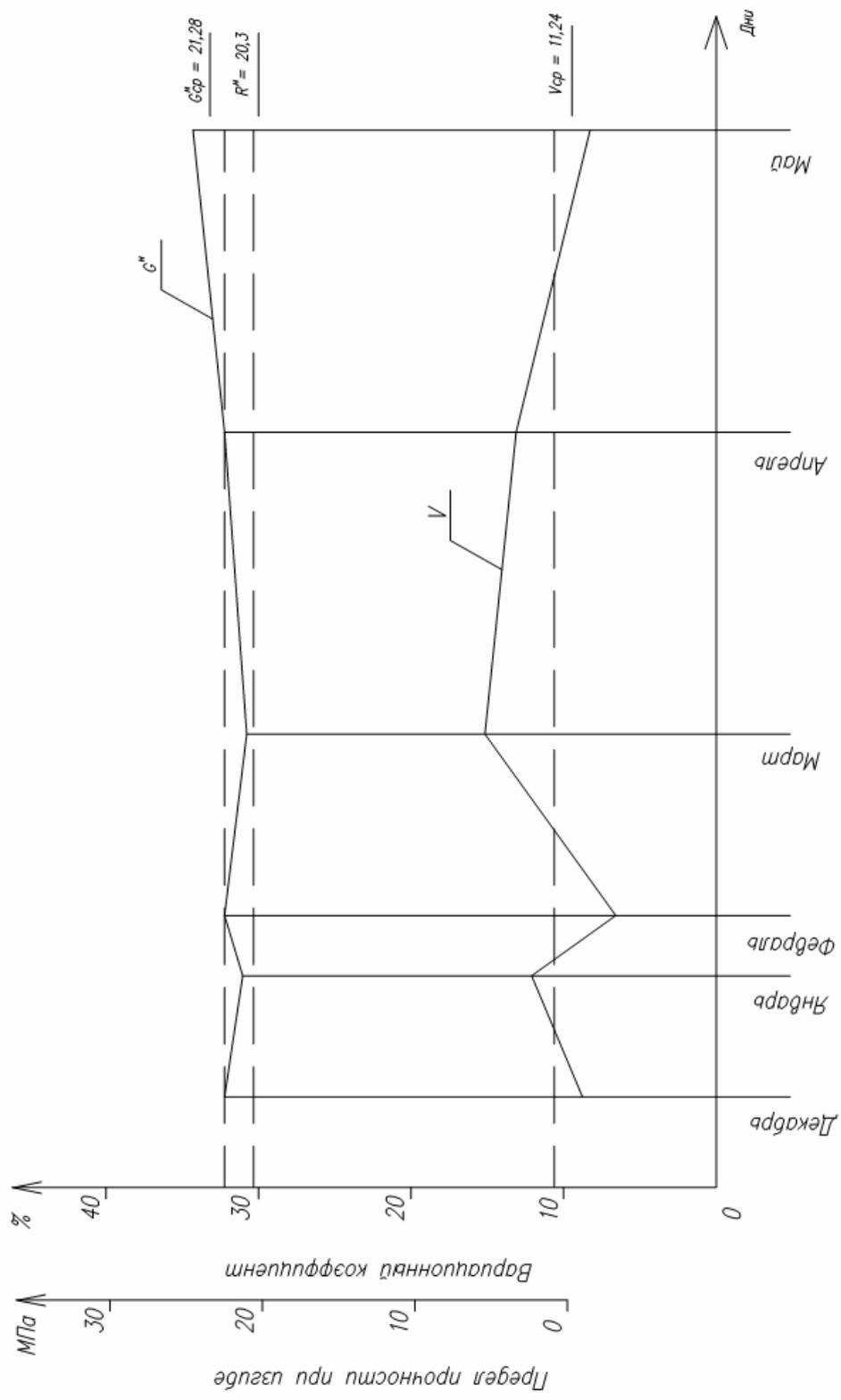


Рис. 2.11. Графики изменения предела прочности ДСП и вариационного коэффициента при изгибе по месяцам (смола КФМТ)

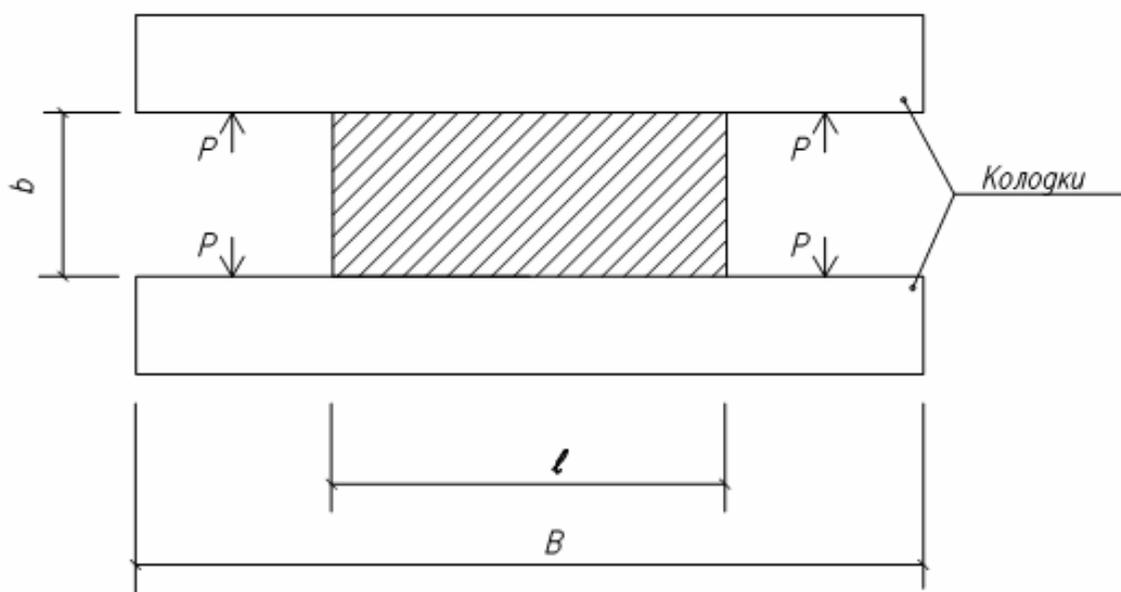


Рис. 2.12. Схема испытания образцов

По полученным в результате испытаний величинам разрушающих нагрузок определялся предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты по формуле

$$\sigma_p = \frac{P_{\text{разр}}}{\ell \cdot b},$$

где $P_{\text{разр}}$ – величина разрушающей нагрузки, кН;

ℓ – длина образца, м;

b – ширина образца, м.

Было испытано 1144 образца, из которых 808 образцов взяты из плиты, сделанной на смоле КФСомт, а 336 образцов – из плиты, сделанной на смоле КФмт. Эти данные обработаны статистически, результаты вычислений приведены в табл. 2.2.

2.5. Определение модуля упругости при сжатии

Ввиду отсутствия ГОСТа на определение модуля упругости при сжатии для древесно-стружечных плит, испытания проводились по методике, описанной ниже. При этом учтены опыт аналогичных работ, проводимых в ЦНИИСК им. Кучеренко и ВНИЦДрев, а также требования и положения [45].

Образцы для определения модуля упругости при сжатии изготавливались в форме прямоугольного бруска с размерами $100 \times 50 \times \delta$, где δ – толщина образца, принимаемая равной толщине листа древесно-стружечной плиты. Перед испытанием на образцы наклеивались (клеем БФ-2) датчики сопротивления с базой 20 мм по схеме, изображенной на рис. 2.13.

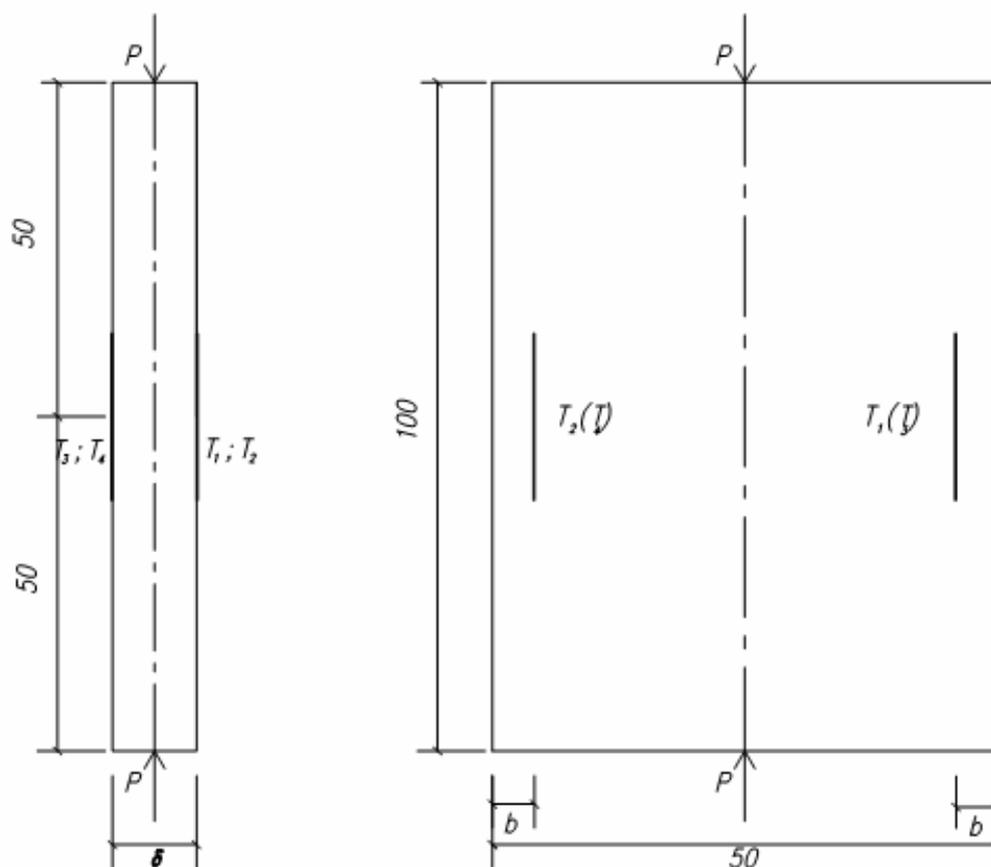


Рис. 2.13. Схема размещения датчиков сопротивления на образце при определении $E_{сж}$

Всего наклеивалось 4 датчика на каждый образец. Это позволяло максимально исключить влияние неравномерности напряжений по ширине и толщине образца на исследуемые величины.

В каждом образце на середине длины измерялись поперечные размеры с точностью до 0,1 мм, данные измерений записывались в журнал испытаний (форма журнала испытаний приведена в табл. 2.3).

Журнал испытаний

Марка образца	Размеры поперечного сечения			Отсчеты по приборам при		Деформация ε	Напряжение σ , (МПа)	Модуль упругости E , (МПа)
	ℓ (м)	b (м)	δ (м)	$P=10\%$ $P_{\text{разр}}$	$P=30\%$ $P_{\text{разр}}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Испытания проводились при скорости нагружения 10 мм/мин. Образец подвергался трехкратному нагружению нагрузками, составляющими 10 и 30 % от разрушающей. Вначале образец нагружался до нижнего предела (10 % от $P_{\text{разр}}$), после чего снимались отсчеты по датчикам сопротивления, затем образец нагружался до верхнего предела (30 % от $P_{\text{разр}}$), и снова снимались отсчеты. После снятия отсчетов образец разгружался до нагрузки нижнего предела, снова снимались отсчеты, и таким образом цикл испытаний повторялся три раза. Отсчеты по датчикам сопротивления снимались с точностью до 1 деления прибора ИСД (измеритель статических деформаций) и заносились в журнал испытаний.

Модуль упругости при сжатии вычислялся по формуле

$$E_{\text{сж}} = \frac{\Delta P}{b \cdot \delta \cdot \varepsilon_{\text{ср}}},$$

где ΔP – разность между верхним и нижним пределами нагружения, кН (принималась 1,60 кН);

b – ширина образца, м;

δ – толщина образца, м;

$\varepsilon_{\text{ср}}$ – средняя по 4-м датчикам относительная деформация, контролируемая измерителем деформации.

Относительная деформация по каждому датчику подсчитывалась как

$$\varepsilon_1 = (n_2 - n_1)10^{-5},$$

где n_1 – отсчет при нагрузке нижнего предела;

n_2 – отсчет при нагрузке верхнего предела.

Полученные в результате испытаний данные заносились в журнал испытаний. Было испытано 262 образца, в том числе 125 образцов, вырезанных в продольном направлении листа, и 137 образцов – в поперечном направлении. Полученные результаты (табл. 2.4) были обработаны методами математической статистики.

Таблица 2.4

Результаты статистической обработки испытаний
по определению модуля упругости древесно-стружечной плиты

Вид испытаний	Направление усилий (относительно листа)	Влажность W , %	Требуемое количество образцов с обеспеченностью $\alpha=0,99$ или 99 %, шт.	Статистические величины						Примечание
				n , шт.	\bar{X} , МПа	S , МПа	V , %	m , МПа	P , %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сжатие	по длине	9,0	60	125	3019	255,0	8,45	22,81	0,76	Выборка произведена по схеме рис. 2.2
	по ширине	9,0	60	137	2429	235,4	9,69	20,11	0,83	
Растяжение	по длине	9,0	70	135	2984	223,3	7,48	19,21	0,64	— »—
	по ширине	9,0	70	140	2352	200,7	8,53	16,96	0,72	
Изгиб	по длине	9,0	50	60	3272	231,4	7,07	29,87	0,91	— »—
	по ширине	9,0	50	59	2554	186,9	7,32	24,33	0,95	

2.6. Определение модуля упругости при растяжении

Ввиду отсутствия ГОСТа по определению модуля упругости при растяжении для древесно-стружечных плит, испытания проводились по методике, описанной ниже. При разработке методики использовались результаты работ, проводимых в ЦНИИСК им. Кучеренко и во ВНИИДреве, а также основные положения [45].

Образцы для определения модуля упругости при растяжении изготавливались в форме прямоугольного бруска с размерами $300 \times 50 \times \delta$, где δ – толщина образца, принималась равной толщине листа древесно-стружечной плиты. Перед испытанием на образцы наклеивались датчики сопротивления с базой 20 мм по схеме, изображенной на рис. 2.14.

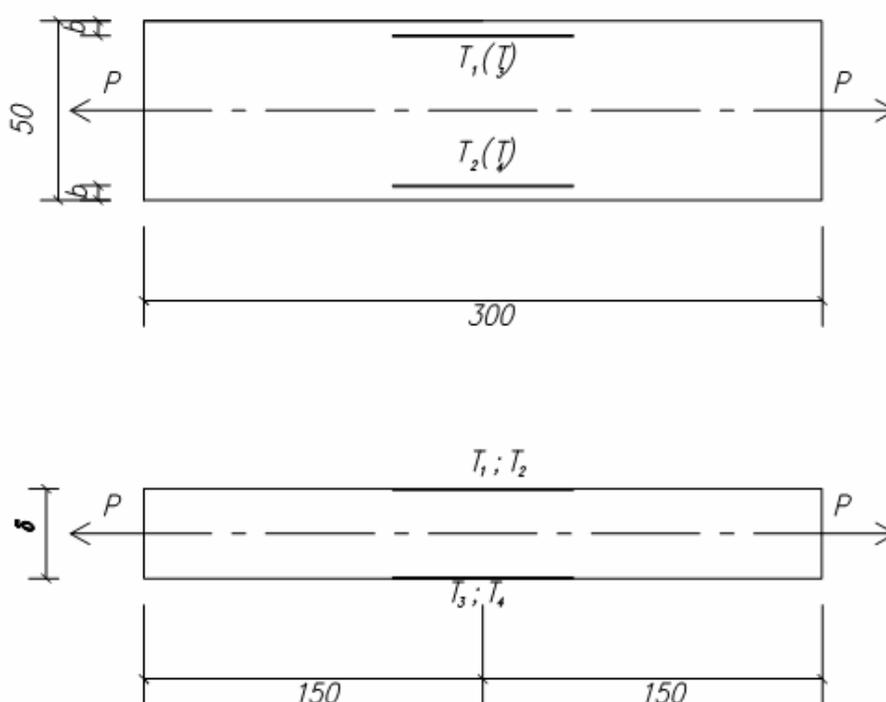


Рис. 2.14. Схема размещения датчиков сопротивления на образце при определении E_p

Методика испытания аналогична методике испытания при определении модуля упругости при сжатии. В каждом образце на середине длины измерялись поперечные размеры с точностью до 0,1 мм, данные измерений записывались в журнал испытаний.

Испытания проводились со скоростью нагружения 10 мм/мин. Каждый образец подвергался трехкратному циклу нагружения соответственно нагрузками, равными 10 % и 30 % от $P_{\text{разр.}}$. На каждом этапе снимались отсчеты и заносились в журнал испытаний.

Модуль упругости при растяжении вычислялся по формуле

$$E_p = \frac{\Delta P}{b \cdot \delta \cdot \varepsilon_{\text{ср}}},$$

где ΔP – разность между верхним и нижним пределами нагружения, кН (принималась 1,6 кН);

b – ширина образца, м;

δ – толщина образца, м;

$\varepsilon_{\text{ср}}$ – средняя по 4-м датчикам и по трем нагружениям относительная деформация.

Было испытано 275 образцов, из которых 135 образцов вырезались в продольном направлении, а 140 – в поперечном. Эти данные обработаны статистически, результаты вычислений приведены в табл. 2.4.

2.7. Определение модуля упругости при изгибе

Модуль упругости при изгибе для древесно-стружечных плит определялся согласно [45], по величинам прогиба при изгибе образца. Схема нагружения образца и измерения требуемых величин показана на рис. 2.15.

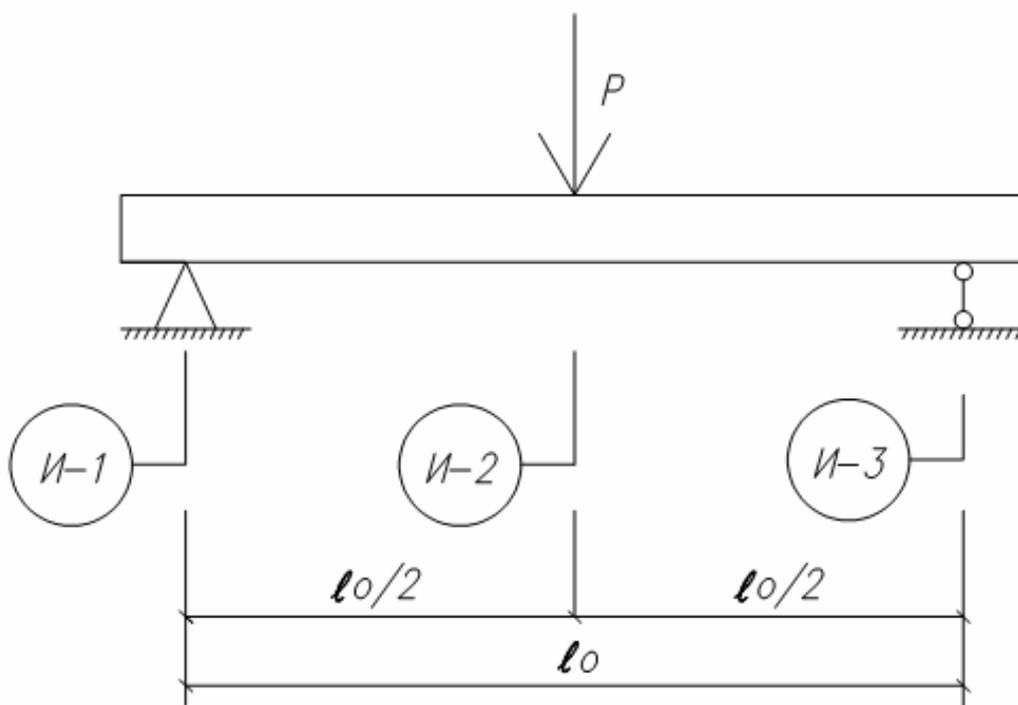


Рис. 2.15. Схема испытания образцов для определения $E_{\text{и}}$

Для измерения прогибов использовались индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Модуль упругости при изгибе вычислялся по формуле

$$E_{и} = \frac{\Delta P \cdot \ell_0^3}{4 \cdot b \cdot \delta^3 (f_2 - f_1)},$$

где ℓ_0 – расстояние между опорами образца, м;

b – ширина образца, м;

δ – толщина образца, м;

ΔP – приращение нагрузки на прямолинейном участке графика зависимости прогиба от нагрузки, определяемое с погрешностью не более 1 %, кН;

$(f_2 - f_1)$ – увеличение прогиба, определяемое с погрешностью не более 0,01 мм, м.

Всего было испытано 119 образцов, из которых 60 образцов были взяты вдоль листа и 59 образцов – поперек листа. Результаты статистической обработки экспериментальных данных приведены в табл. 2.4.

2.8. Нормативные и расчетные характеристики древесно-стружечных плит

Прежде чем давать общую оценку качества древесно-стружечных плит на основе проведенных механических испытаний, необходимо, основываясь на математической теории вероятности, выяснить возможные минимальные значения величин механических характеристик (предел прочности и модуль упругости). Это важно, так как средние значения механических характеристик не могут дать исчерпывающего ответа о качестве плит в целом, поскольку сами являются величинами выборочными и по плите, и по партии, зависят от количества испытываемых образцов, а вопрос о качестве необходимо решать на всю продукцию – и испытанную, и неиспытанную.

Согласно теории вероятности доверительный интервал (от минимального до максимального значения получаемой в испытаниях величины) для среднего значения \bar{X} подсчитывается по формуле

$$P \left[\left(\bar{X} - t_{q,k} \frac{S}{n-1} \right) < \bar{X} < \left(\bar{X} + t_{q,k} \frac{S}{n-1} \right) \right] = \alpha, \quad (2.1)$$

где P – вероятность с обеспеченностью (или доверительностью), равной α ;

$t_{q,k}$ – коэффициент Стьюдента, зависящий от q (или α) и количества испытываемых образцов $k = (n - 1)$ (n – общее количество испытанных образцов);

S – среднее квадратическое отклонение;

\bar{X} – среднее арифметическое значение;

α – доверительная вероятность, или обеспеченность (коэффициент надежности по материалу находится в прямой зависимости от α).

Между уровнем значимости и доверительной вероятностью существует зависимость

$$\alpha = 1 - \frac{q}{100},$$

т.е. если $q = 10$, то доверительная вероятность $\alpha = 0,9$, или 90 %, если $q = 2$, то $\alpha = 0,99$, или 99 %. Для строительных конструкционных материалов величина α фактически показывает коэффициент надежности по материалу.

Для нахождения вероятного значения той или иной механической характеристики по минимуму или максимуму выражение (2.1) с небольшой степенью погрешности приводят к виду

$$P\left[\bar{X}(1 - t_{q,k}C_v) < \bar{X} < \bar{X}(1 + t_{q,k}C_v)\right] = \alpha, \quad (2.2)$$

где C_v – вариационный коэффициент.

Для механических характеристик (предел прочности, модуль упругости) необходимо знать минимальное значение с определенной доверительной вероятностью α , т.е.

$$\bar{X}_{\min} = \bar{X}(1 - t_{q,k}C_v). \quad (2.3)$$

Коэффициент $t_{q,k}$ нужно брать для требуемой доверительной вероятности, или обеспеченности, α .

Поскольку большую опасность в показателях прочности представляют значения, отклоняющиеся от \bar{X} в меньшую сторону (действительно, если прочность будет отклоняться в большую сторону от \bar{X} , опасности никакой нет), то при задании уровня значимости q при нормальном законе распределения учитывают лишь отклонения в сторону меньших значений прочности материала. Тогда при подсчете надежности $\alpha = 1 - (q/100)$ величину q нужно брать фактически в два раза меньшую или, как говорят (в нормах), следует брать обеспеченность по минимуму.

Например: если обеспеченность по минимуму нужна $\alpha = 0,95$, или 95 % (для нормативного значения), то в таблице коэффициентов Стьюдента [34] следует брать значения $t_{q,k}$ при $q = 10$ (в силу упомянутого выше фактически $|q|_{\min} = q/2 = 5$ и $\alpha = 1 - (5/100) = 0,95$); если обеспеченность по минимуму нужна $\alpha = 0,99$, или 99 % (для расчетного), то $t_{q,k}$ берут при $q = 2$, т.к. $|q|_{\min} = q/2 = 2/2 = 1$ и $\alpha = 1 - (1/100) = 0,99$, или 99 %.

При достаточно большом ($n > 30$) количестве испытанных образцов величина коэффициента $t_{q,k}$ в формуле (2.3) принимается равной $t_{q,k} = 1,65$ –

для нормативного значения (с обеспеченностью 95 %), $t_{q,k} = 2,33$ – для расчетного значения (с обеспеченностью 99 %) [46].

Таким образом, нормативное значение предела прочности (или модуля упругости) определяется так

$$R_{кр}^H = \bar{X}(1 - 1,65C_v), \quad (2.4)$$

а расчетное значение

$$R_{кр} = \bar{X}(1 - 2,33C_v). \quad (2.5)$$

Между этими двумя характеристиками существует связь

$$R_{кр} = \frac{R_{кр}^H}{\gamma_m}, \quad (2.6)$$

где $\gamma_m = \frac{1 - 1,65C_v}{1 - 2,33C_v}$.

Следует заметить, что формулы (2.4) ÷ (2.6) справедливы для случая, когда испытанию подвергалось достаточно большое количество образцов ($n > 30$). С этой целью определялось при каждом испытании требуемое количество образцов с обеспеченностью по минимуму $\alpha = 0,99$, или 99 %. Необходимое количество образцов (табл. 2.2 и 2.4) определялось по номограмме, приведенной в [32] в зависимости от вероятности α и коэффициента C_v , который принимался по данным [46].

В формулах (2.4), (2.5) и (2.6) для подсчета нормативных и расчетных характеристик не учтен фактор времени действия нагрузок, т.е. влияние ползучести материала на величины механических характеристик. Этот фактор учитывается коэффициентами $k_{дл}$ – для пределов прочности и $n_{дл}$ – для модулей упругости. Величины этих коэффициентов дополнительно не исследовались, а значения их приняты на основе данных исследований ЦНИИСК им. Кучеренко и ВНИИДрев [46, 55].

Полученные данные механических испытаний обработаны статистически и по формуле (2.4) подсчитаны кратковременные (без учета длительности действия нагрузок) нормативные значения сопротивлений (предел прочности) и модулей упругости. Величины их приведены в табл. 2.5. Там же приведены и значения расчетных сопротивлений и модулей упругости, подсчитанные с учетом, фактора времени действия нагрузок по формулам

$$R = R_{кр}^H K_p k_{дл} / \gamma_m,$$

$$E = E_{кр}^H K_p n_{дл},$$

где $K_p = 0,8$ – переходный коэффициент, учитывающий влияние размеров рабочего сечения на прочность древесно-стружечной плиты [46];

$k_{дл}$ – принимался из табл. 12 [46];

$n_{дл}$ – принимался из табл. 13 [46].

В табл. 2.5 даются значения нормативных и расчетных сопротивлений и модулей упругости для древесно-стружечных плит, выпускаемых комбинатом, который оснащен оборудованием и технологическими линиями фирмы «Бизон» (Германия). Такая плита в основном предназначена для производства клееных панелей полносборных деревянных домов.

Т а б л и ц а 2 . 5

Нормативные и расчетные сопротивления и модули упругости древесно-стружечной плиты

Вид напряжений	Направление усилий (относительно листа)	Нормативное значение R^H (МПа)	Расчетное значение R (МПа)	Модуль упругости		Примечание
				нормативное значение E^H (МПа)	расчетное значение E (МПа)	
1	2	3	4	5	6	7
Сжатие	по длине	12,80	4,70	3020	1080	Выборка производилась по схеме рис. 2.2
	по ширине	12,60	4,70	2430	880	
Растяжение	по длине	8,80	3,30	2980	1090	– »-
	по ширине	7,60	2,90	2350	870	– »-
Изгиб	по длине	20,30	8,60	3270	1120	– »-
	по ширине	15,90	7,00	2550	880	– »-

Подсчет характеристик произведен на основе испытаний определенного количества образцов. Сами же значения нормативного и расчетного сопротивлений и модулей упругости указывают, что абсолютные величины пределов прочности и модулей упругости с вероятностью соответственно 0,95 и 0,99 не могут быть ниже подсчитанных величин при любом количестве испытаний. Действительно, анализ результатов испытаний большого количества образцов (за несколько лет), например, при определении предела прочности при изгибе показал, что минимальное значение его ни разу не было менее нормативного сопротивления. Это указывает на надежную достоверность полученных характеристик для древесно-стружечных плит.

В дальнейшем при выполнении работ по контролю качества выпускаемых древесно-стружечных плит для обеспечения достаточной достоверности результатов необходимо в показатель контроля вводить не среднюю величину предела прочности, а минимально возможную (вероятную), т.е. нормативное сопротивление с достоверностью 95 %. При этом количество одновременно испытываемых образцов должно быть не менее 10 штук и

одновременно с R^H должен подсчитываться коэффициент вариации, по которому, собственно, можно судить о стабильности технологического процесса при производстве древесно-стружечной плиты.

Проведенные механические испытания древесно-стружечной плиты показали, что значения расчетных сопротивлений и модулей упругости в поперечном и продольном направлениях листа имеют незначительные расхождения (см. табл. 2.5). Однако в практических расчетах плиту все же можно отнести к изотропным материалам, учитывая небольшие расхождения по механическим характеристикам (расчетные сопротивления и модули упругости при сжатии, растяжении и изгибе) в продольном и поперечном направлениях листа, которые сравнительно невелики и составляют около 20 %.

Можно и нужно ли считать древесно-стружечную плиту конструкционным материалом? Для ответа на этот вопрос условимся, что конструкционным будем считать такой материал, который способен полностью или частично воспринимать усилия, возникающие в комбинированной конструкции в процессе ее эксплуатации. В данном случае речь идет о конструкциях панелей, предназначенных для малоэтажного домостроения.

Действительное напряженное состояние панелей различных конструктивных решений полносборных жилых домов рассмотрено в [61], где сформулированы основные положения по прочностным и деформативным характеристикам древесно-стружечной плиты, используемой в домостроении. Сравнивая полученные величины механических характеристик исследованных плит, приведенные в табл. 2.5, с данными, представленными в [61], можно констатировать, что исследуемая плита отвечает всем требованиям конструкционного материала, способного в конструкциях взять на себя часть внутренних усилий или воспринимать их полностью.

Независимо от данной констатации вывода, в следующих разделах приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований действительной работы элементов ребристой панели, подтверждающие заключение о том, что применение древесно-стружечных плит в качестве несущих элементов конструкции способно привести к существенной экономии материалов, снижению стоимости, уменьшению рабочих сечений конструкции.

На основе проведенных испытаний достаточно большого количества образцов получены основные прочностные и упругие характеристики, по которым подсчитаны нормативные и расчетные сопротивления и модули упругости древесно-стружечных плит, выпускаемых комбинатом, который оснащен оборудованием и технологическими линиями фирмы «Бизон» (Германия). Величины указанных характеристик приведены в табл. 2.5.

Полученные абсолютные значения нормативных и расчетных сопротивлений и модулей упругости (см. табл. 2.5) исследуемой древесно-стру-

жечной плиты, позволяют оценить ее как материал, способный воспринимать в несущих конструкциях определенную долю усилий. Учитывая сравнительно невысокий уровень напряженного состояния конструктивных элементов малоэтажных жилых домов, можно рекомендовать древесно-стружечную плиту как конструкционный материал, способный самостоятельно или совместно с другими материалами воспринимать усилия, действующие в конструкциях малоэтажных домов.

Исследуемая древесно-стружечная плита обладает стабильными механическими характеристиками, с малым коэффициентом разброса, что говорит о сравнительно хорошем ее качестве. Определяющими характеристиками при испытании плит должны являться нормативные сопротивления, подсчитываемые по формуле (2.4), а также вариационный коэффициент, величина которого позволяет судить о стабильности качества древесно-стружечных плит.

На основе общего анализа полученных данных (см. табл. 2.5) можно констатировать, что исследуемая плита согласно требованиям [12] может быть отнесена по механическим характеристикам к плитам марки П – А.

Анализ результатов испытаний образцов, сориентированных в продольном и поперечном направлениях в плоскости листа, показал, что лист древесно-стружечной плиты можно считать практически изотропным в своей плоскости, хотя расхождения по некоторым характеристикам достигают относительно заметной величины (20 %).

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПАНЕЛИ С ОБШИВКАМИ ИЗ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

3.1. Общая постановка вопроса

Теоретические исследования базируются на конструктивных решениях полносборных домов, выпускаемых домостроительными комбинатами и ориентированных на разрешение проблемных задач, связанных с изготовлением, эксплуатацией и совершенствованием панелей для этих домов. Поэтому многие вопросы теоретических и экспериментальных исследований (например, выбор конкретных образцов для исследований и испытаний, выбор расчетных схем загрузки и статических схем работы, обоснование оценки результатов испытаний и др.) определялись практически целями, применительно к панелям домов производства домостроительных комбинатов.

Исследования проводились в основном на трехкомнатном одноквартирном доме серии «101». Весь дом собирается на фундаментной плите из небольшого числа крупных панелей полной заводской готовности. В основе конструктивной схемы всех панелей дома лежит ребристая система, состоящая из несущих ребер и обшивок, соединяемых между собой с помощью клея. Панели между собой в системе дома соединяются болтами. Указанное раскрепление панелей между собой позволяет считать узловые соединения как шарнирные, препятствующие только линейным перемещениям точек по линиям взаимного сопряжения панелей. Поскольку панели дома «крупные», имеют по своей длине дополнительные раскрепления в местах их взаимного пересечения, то ряд панелей дома работают как неразрезные системы. Неразрезность панелей дома приводит к повышению сборности, но вызывает отрицательные стороны в их работе, проявляющиеся в повышенной чувствительности к неточностям изготовления и монтажа, а также к кратковременному воздействию температур и влажности.

Общая конструктивная схема панельного дома (применительно к серии «101»), на котором велись экспериментальные и теоретические исследования, приведена на рис. 1.2. При выборе расчетной схемы для панелей весь пространственный блок можно разделить на систему отдельных плоских элементов, воспринимающих свою долю нагрузок. Разгружающее влияние смежных панелей на рассматриваемую может учитываться при этом лишь при строгом соблюдении всех проектных, общестроительных и монтажных требований при возведении здания. Поскольку все они не всегда могут быть выполнены, то в целях обеспечения надежности панелей в работе возникает необходимость учета различных расчетных схем их статической работы.

В настоящих исследованиях рассматривались панели чердачного и междуэтажного перекрытия как наиболее ответственные элементы дома, работающие на изгиб и воспринимающие значительные нагрузки, действующие в доме. Они были рассмотрены как плоские конструкции, работающие по схеме неразрезной балки и по схеме неразрезной плиты.

Работа панели перекрытия по балочной схеме отвечает тому случаю, когда вследствие неточностей изготовления и монтажа наружные стеновые панели, расположенные параллельно панели перекрытия, не могут служить опорой для панели перекрытия (по ее длинной стороне). Совместность работы всех панелей перекрытия как единой плиты не обеспечена ввиду недостаточной жесткости связей, соединяющих смежные панели перекрытия между собой, или полного их отсутствия. В этом случае панель работает как двухпролетная неразрезная балка с разными пролетами. Если же все панели внутренних и наружных стен выложены в едином уровне (по горизонтали) и все панели перекрытия надежно соединены между собой, то все они могут служить опорами для панелей перекрытия. В этом случае панель перекрытия работает по схеме неразрезной плиты.

3.2. Исследование напряжений в обшивках и ребрах

3.2.1. Обоснование расчетной схемы

Для оценки усилий в обшивках и ребрах рассматривается трехслойная панель, состоящая из двух обшивок и несущих продольных ребер (рис. 3.1) и работающая на изгиб по балочной схеме. Ребра параллельны друг другу и установлены равномерно по ширине плиты. Предполагается, что панель по коротким сторонам свободно оперта; нормальная нагрузка, действующая на панель, приложена в плоскости несущих ребер и одинакова для каждого ребра. При решении задачи принято, что материал обшивок (древесно-стружечная плита) – изотропный, а материал ребер (древесина) – ортотропный.

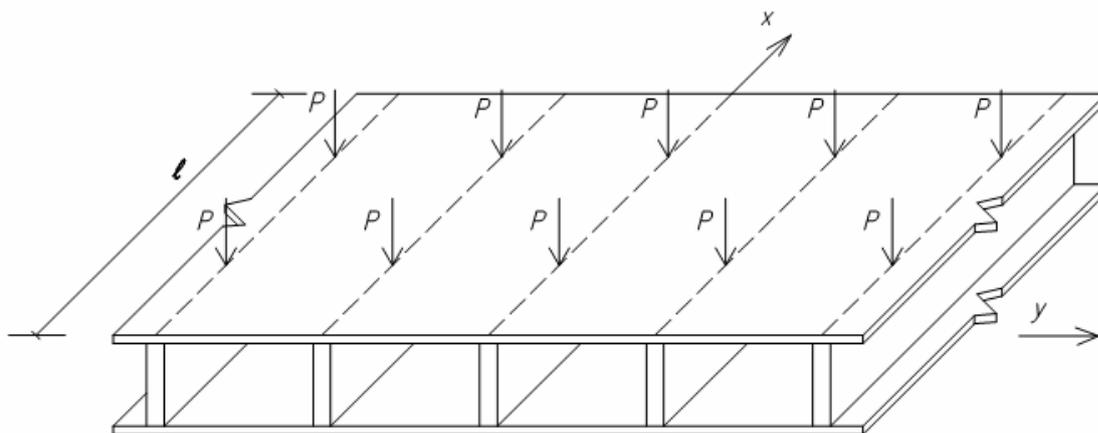
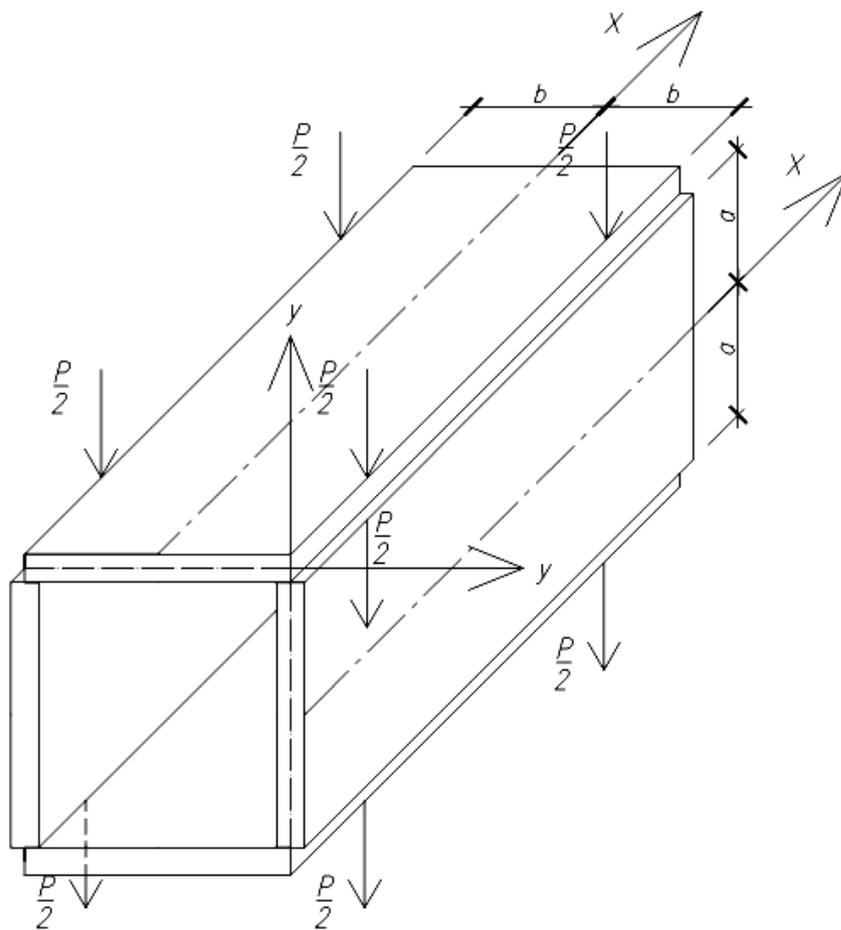


Рис. 3.1. Общий вид панели

Исследования и эксперименты А.В. Губенко [14], А.И. Брусиловского [4], Б.Е. Кондратенко [29] и других авторов показали, что нормальные напряжения в обшивках возрастают к ребрам и их неравномерность для некоторых геометрических параметров ребристых панелей может достигнуть значительной величины. При расчете ребристых панелей необходимо знать максимальные нормальные напряжения в обшивках особенно тогда, когда панели изготовлены из хрупких материалов, где не наблюдается пластического перераспределения напряжений по всему сечению при возрастании нагрузки. Для таких хрупких материалов концентрация напряжений у ребра может привести к преждевременному разрушению элемента панели. Для решения задачи используем методику и результаты, изложенные в работе А.И. Брусиловского [4]. Так как конструкция панели, ее закрепление и загрузка являются регулярными, то расчет панели сводится к расчету отдельного блока (рис. 3.2). В целях упрощения задачи внешнюю нагрузку разложим на симметричную и асимметричную. На рис. 3.2 представлена асимметричная нагрузка. Как показали исследования А.И. Брусиловского [4], влияние симметричной нагрузки на величины, определяющие прочность и жесткость панели, незначительно (не превышает 5%); поэтому в дальнейшем будем ограничиваться только асимметричной задачей.



3.2. Вид отдельного блока

Для расчета отдельного блока панели (см. рис. 3.2) расчленим его на отдельные пластинки и их взаимодействие заменим действием внутренних усилий так, как это показано на рис. 3.3. В результате расчленения расчет отдельного блока сведется к решению плоских задач теории упругости для ортотропной пластинки «1» и изотропной пластинки «2», находящихся под действием внешних сил и контактных усилий взаимодействия пластинок между собой. Контактные усилия $q(x)$ и τ_x являются искомыми величинами.

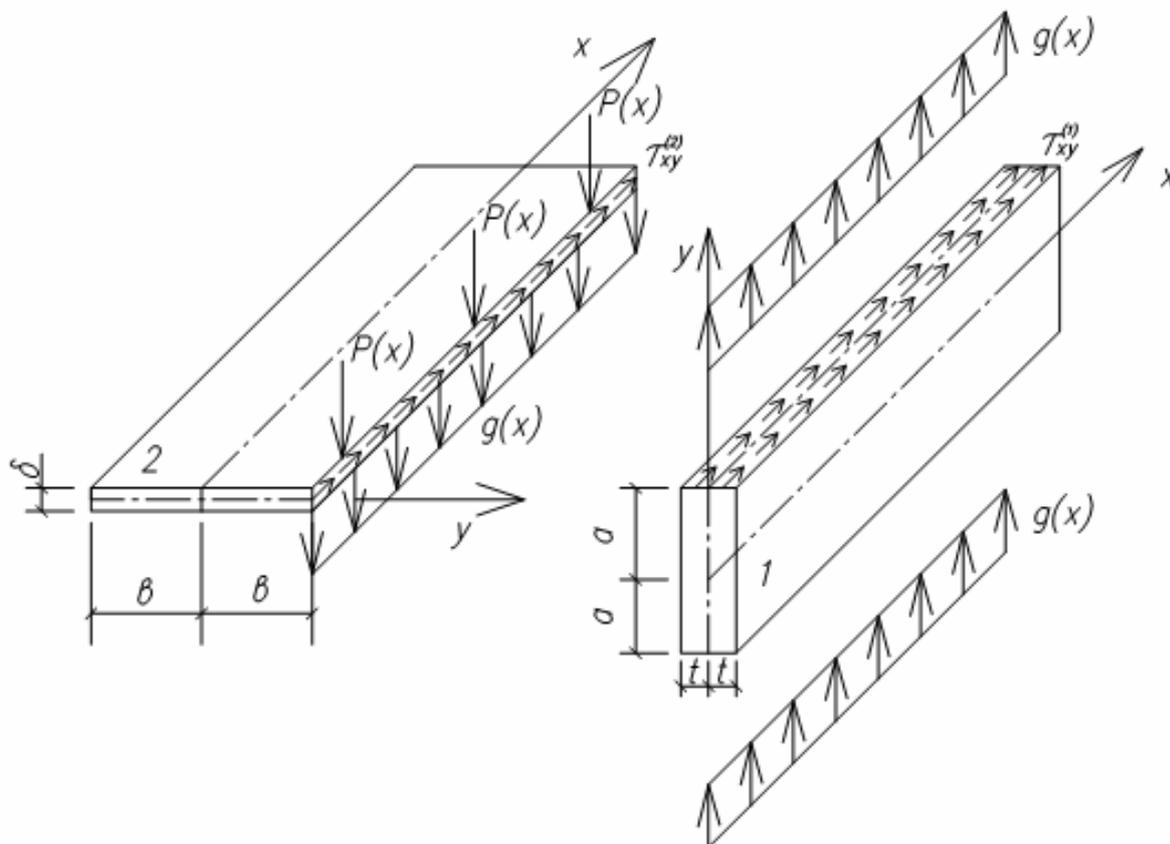


Рис. 3.3. Схема расчленения блока на отдельные пластины

3.2.2. Вывод расчетных формул

При решении асимметричной задачи с целью нахождения внутренних напряжений необходимо помимо условия равновесия использовать граничные условия и условия совместности деформаций на пересечении ребра с верхней обшивкой.

В дальнейшем все величины, характеризующие напряженно-деформированное состояние и относящиеся к ребру, будем обозначать индексом «1», к обшивке – «2»; σ_x , σ_y , $\tau_{x,y}$ – напряжения; u , θ – перемещения соответственно по осям координат x , y (см. рис. 3.3).

Используя принятые обозначения, составим условия совместности деформаций пластинок 1 и 2 и граничные условия:

а) перемещения u в направлении оси x пластинок 1 и 2 равны, т.е.

$$\left[u^{(1)} \right]_{y=a} = \left[u^{(2)} \right]_{y=b}; \quad (3.1)$$

б) погонные касательные усилия пластинок 1 и 2 в ребре пересечения равны, т.е.

$$t \left[\tau_{x,y}^{(1)} \right]_{y=a} = -\delta \left[\tau_{x,y}^{(2)} \right]_{y=b}, \quad (3.2)$$

где t – половина толщины ребра, вторая половина относится к следующему блоку;

δ – толщина обшивок.

В соотношении (3.2) знак минус взят потому, что касательные напряжения $\tau_{x,y}^{(1)}$ и $\tau_{x,y}^{(2)}$, обозначенные на рис. 3.3, приняты положительными и направления их совпадают, а они должны быть равны по величине и противоположны по направлению;

в) нормальное напряжение на верхней грани в пластинке 1 равно заданному напряжению, т.е.

$$\left[\sigma_y^{(1)} \right]_{y=a} = p(x). \quad (3.3)$$

Для вычисления $p(x)$ следует нагрузку, стянутую на ребро, разделить на толщину ребра, т.е.

$$p(x) = g_o(x) \frac{2b + 2t}{2t},$$

где $g_o(x)$ – заданная распределенная нагрузка на панель;

г) продольные кромки пластинки 2 в силу симметрии задачи относительно ребра не могут искривляться.

$$\left[\frac{\partial \theta^{(2)}}{\partial x} \right]_{y=b} = 0. \quad (3.4)$$

Таким образом, расчет панели свелся к определению напряжений и перемещений в пластинах 1 и 2 и использованию условий (3.1)–(3.4).

Рассмотрим ортотропную прямоугольную пластинку 1, находящуюся под действием произвольной асимметричной нагрузки (см. рис. 3.3).

Как известно [44, 65], решение такой задачи для ортотропной пластины сводится к интегрированию обобщенного бигармонического уравнения

$$\frac{1}{E_2} \frac{\partial^4 \varphi_1}{\partial x^4} + \left(\frac{1}{G} - \frac{2\nu_1}{E_1} \right) \frac{\partial^4 \varphi_1}{\partial x^2 \partial y^4} + \frac{1}{E_1} \frac{\partial^4 \varphi_1}{\partial y^4} = 0, \quad (3.5)$$

где E_1, ν_1, E_2 – упругие характеристики ортотропного материала по главным направлениям x и y .

Решение краевой задачи будем искать в виде

$$\varphi_1(x, y) = \sum_{m=1,2,3,\dots}^{\infty} Y_m(y) \sin \alpha_m x. \quad (3.6)$$

После подстановки (3.6) в уравнение (3.5) для определения неизвестных функций $Y_m(y)$ получим обыкновенное дифференциальное уравнения

$$Y_m(y) - 2a_1\alpha_m^2 Y_m''(y) + b_1\alpha_m^4 Y_m(y) = 0,$$

где $a_1 = \frac{E_1}{2G} - \nu_1$; $b_1 = \frac{E_1}{E_2}$.

Для упругих постоянных материала ребра (древесина) $a_1^2 > b_1$; тогда получим, что все корни характеристического уравнения

$$r^4 - 2a_1\alpha_m^2 r^2 + b_1\alpha_m^4 = 0$$

будут действительными и разными, т.е.

$$r_{1,2,3,4} = \pm S_{1,2}\alpha_m; \quad S_{1,2} = \sqrt{a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - b_1}}.$$

Соответствующее этим корням решение будет иметь вид

$$Y_m(y) = A_m \operatorname{sh} \alpha_m S_1 y + B_m \operatorname{sh} \alpha_m S_2 y + C_m \operatorname{ch} \alpha_m S_1 y + D_m \operatorname{ch} \alpha_m S_2 y. \quad (3.7)$$

Так как нагрузка асимметрична, то в выражении (3.7) симметричные слагаемые относительно оси $y = 0$ следует опустить.

Тогда

$$Y_m(y) = A_m \operatorname{sh} \alpha_m S_1 y + B_m \operatorname{sh} \alpha_m S_2 y. \quad (3.8)$$

Подставив (3.8) в (3.6), получим:

$$\varphi_1(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} [A_m \operatorname{sh} \alpha_m S_1 y + B_m \operatorname{sh} \alpha_m S_2 y] \cdot \sin \alpha_m x.$$

При известной функции напряжений напряжения и перемещения для ортотропной пластинки 1 представятся в следующем виде:

$$\begin{aligned} \sigma_x^{(1)} &= \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 [A_m \operatorname{sh} \alpha_m S_1 y + B_m \operatorname{sh} \alpha_m S_2 y] \cdot \sin \alpha_m x; \\ \sigma_y^{(1)} &= - \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 [A_m \operatorname{sh} \alpha_m S_1 y + B_m \operatorname{sh} \alpha_m S_2 y] \cdot \sin \alpha_m x; \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$\tau_{x,y}^{(1)} = \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 [A_m S_1 \operatorname{ch} \alpha_m S_1 y + B_m S_2 \operatorname{ch} \alpha_m y] \cdot \cos \alpha_m x;$$

$$u^{(1)} = -\frac{1}{E_1} \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m [A_m(S_1^2 + \nu_1) \operatorname{sh} \alpha_m S_1 y + B_m(S_2^2 + \nu_1) \operatorname{sh} \alpha_m S_2 y] \cdot \cos \alpha_m x; \quad (3.10)$$

$$\nu^{(1)} = -\frac{1}{E_1} \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m [A_m S_1 (S_1^2 - c) \operatorname{ch} \alpha_m S_1 y + B_m S_2 (S_2^2 - c) \operatorname{ch} \alpha_m S_2 y] \cdot \sin \alpha_m x,$$

где $c = (E_1/G) - \nu_1$;

A_m, B_m – произвольные постоянные.

Рассмотрим асимметричное нагружение изотропной прямоугольной пластинки 2. Задача определения напряжений и перемещений в прямоугольной изотропной пластинке сводится к интегрированию бигармонического уравнения

$$\frac{\partial^4 \varphi_2}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi_2}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi_2}{\partial y^4} = 0. \quad (3.11)$$

Решение уравнения для пластинки 2 (см. рис. 3.3) с учетом симметрии относительно оси $y = 0$ можно представить в виде

$$\varphi_2(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} [C_m \operatorname{ch} \alpha_m y + D_m \alpha_m y \operatorname{sh} \alpha_m y] \cdot \sin \alpha_m x,$$

где $\alpha_m = m\pi/\ell$.

Тогда напряжение и перемещение для изотропной пластинки 2 можно представить в виде

$$\begin{aligned} \sigma_x^{(2)} &= \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 [C_m \operatorname{ch} \alpha_m y + D_m (2 \operatorname{ch} \alpha_m y + \alpha_m y \operatorname{sh} \alpha_m y)] \cdot \sin \alpha_m x; \\ \sigma_y^{(2)} &= -\sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 [C_m \operatorname{ch} \alpha_m y + D_m \alpha_m y \operatorname{sh} \alpha_m y] \cdot \sin \alpha_m x; \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\tau_{x,y}^{(2)} = -\sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m^2 [C_m \operatorname{sh} \alpha_m y + D_m (\operatorname{sh} \alpha_m y + \alpha_m y \operatorname{ch} \alpha_m y)] \cdot \cos \alpha_m x;$$

$$u^{(2)} = -\frac{1}{E_0} \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m \{C_m (1 + \nu_0) \operatorname{ch} \alpha_m y + D_m [2 \operatorname{ch} \alpha_m y + (1 + \nu_0) \alpha_m y \operatorname{sh} \alpha_m y]\} \cdot \cos \alpha_m x; \quad (3.13)$$

$$\nu^{(2)} = -\frac{1}{E_0} \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m \{C_m (1 + \nu_0) \operatorname{sh} \alpha_m y + D_m [-(1 + \nu_0) \operatorname{sh} \alpha_m y + (1 + \nu_0) \alpha_m y \operatorname{ch} \alpha_m y]\} \cdot \sin \alpha_m x;$$

где E_0, ν_0 – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала пластинки 2;

C_m, D_m – произвольные постоянные.

Для определения произвольных постоянных A_m, B_m, C_m, D_m используем выражения (3.9); (3.10); (3.12), (3.13) и условия (3.1)–(3.4), т.е.

$$\left[u^{(1)} \right]_{y=a} = \left[u^{(2)} \right]_{y=b}, \quad (3.14)$$

$$t \left[\tau_{x,y}^{(1)} \right]_{y=a} = \delta \left[\tau_{x,y}^{(2)} \right]_{y=b}, \quad (3.15)$$

$$\left[\sigma_y^{(1)} \right] = p(x) = \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} S_m \cdot \sin \alpha_m x, \quad (3.16)$$

$$\left[\frac{\partial \theta^{(2)}}{\partial x} \right]_{y=b} = 0. \quad (3.17)$$

После подстановки в (3.14)–(3.17) соответствующих напряжений и перемещений для определения постоянных A_m, B_m, C_m, D_m получим следующую систему уравнений:

$$A_m(S_1^2 + \nu_1) \operatorname{sh} \delta_m S_1 + B_m(S_2^2 + \nu_1) \operatorname{sh} \delta_m S_2 = \frac{E_1}{E_0} [C_m(1 + \nu_0) \operatorname{ch} \Delta_m + D_m \beta_0];$$

$$A_m S_1 \operatorname{ch} \delta_m S_1 + B_m S_2 \operatorname{ch} \delta_m S_2 = -k [C_m \operatorname{sh} \Delta_m + D_m \gamma_0];$$

$$A_m \operatorname{sh} \delta_m S_1 + B_m \operatorname{sh} \delta_m S_2 = -S_m / \alpha_m^2;$$

$$C_m(1 + \nu_0) \operatorname{sh} \Delta_m - D_m [(1 + \nu_0) \operatorname{sh} \Delta_m - (1 + \nu_0) \Delta_m \operatorname{ch} \Delta_m] = 0,$$

где $\beta_0 = 2 \operatorname{ch} \Delta_m + (1 + \nu_0) \Delta_m \operatorname{sh} \Delta_m$;

$$\gamma_0 = \operatorname{sh} \Delta_m + \Delta_m \operatorname{ch} \Delta_m, \quad \delta_m = m\pi/2\gamma_1;$$

$$\gamma_1 = \ell/2a, \quad \Delta_m = m\pi/2\gamma_2, \quad \gamma_2 = \ell/2b.$$

После некоторых преобразований постоянные можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} A_m &= \frac{S_m}{\alpha_m^2 \operatorname{ch} \delta_m S_1} \bar{A}_m, \\ B_m &= \frac{S_m}{\alpha_m^2 \operatorname{ch} \delta_m S_2} \bar{B}_m, \\ C_m &= \frac{S_m}{\alpha_m^2 \operatorname{ch} \Delta_m} \bar{C}_m, \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$D_m = \frac{S_m}{\alpha_m^2 \operatorname{ch} \Delta_m} \bar{D}_m,$$

$$\text{где } \bar{A}_m = \left[S_2 - \frac{2k}{1 + \nu_0} \operatorname{th} \Delta_m \operatorname{th} \delta_m S_2 \bar{D}_m \right] f_m;$$

$$\bar{B}_m = - \left[S_1 - \frac{2k}{1 + \nu_0} \operatorname{th} \Delta_m \operatorname{th} \delta_m S_1 \bar{D}_m \right] f_m;$$

$$\bar{C}_m = \left[\frac{1 - \nu_0}{1 + \nu_0} - \frac{\Delta_m}{\operatorname{th} \Delta_m} \right] \bar{D}_m;$$

$$\bar{D}_m = [(S_1^2 + \nu_1) S_2 \operatorname{th} \delta_m S_1 - (S_2^2 + \nu_1) S_1 \operatorname{th} \delta_m S_2] / \varphi_m;$$

$$\text{здесь } \varphi_m = \frac{2k}{1 + \nu_0} (S_1^2 + S_2^2) \operatorname{th} \delta_m S_1 \operatorname{th} \delta_m S_2 \operatorname{th} \Delta_m +$$

$$+ \frac{E_1}{E_0} \cdot \left[(3 - \nu_0) - (1 + \nu_0) \frac{2\Delta_m}{\operatorname{sh} 2\Delta_m} \right] \frac{1}{f_m};$$

$$f_m = \frac{1}{S_1 \operatorname{th} \delta_m S_2 - S_2 \operatorname{th} \delta_m S_1}, k = \frac{\delta}{t};$$

S_m – коэффициенты Фурье разложения асимметричной части внешней нагрузки, приложенной к верхней обшивке панели и действующей в срединной плоскости ребра.

Рассмотрим характерные типы нагрузок:

а) Равномерно распределенная нагрузка по всей длине ребра (рис. 3.4а).

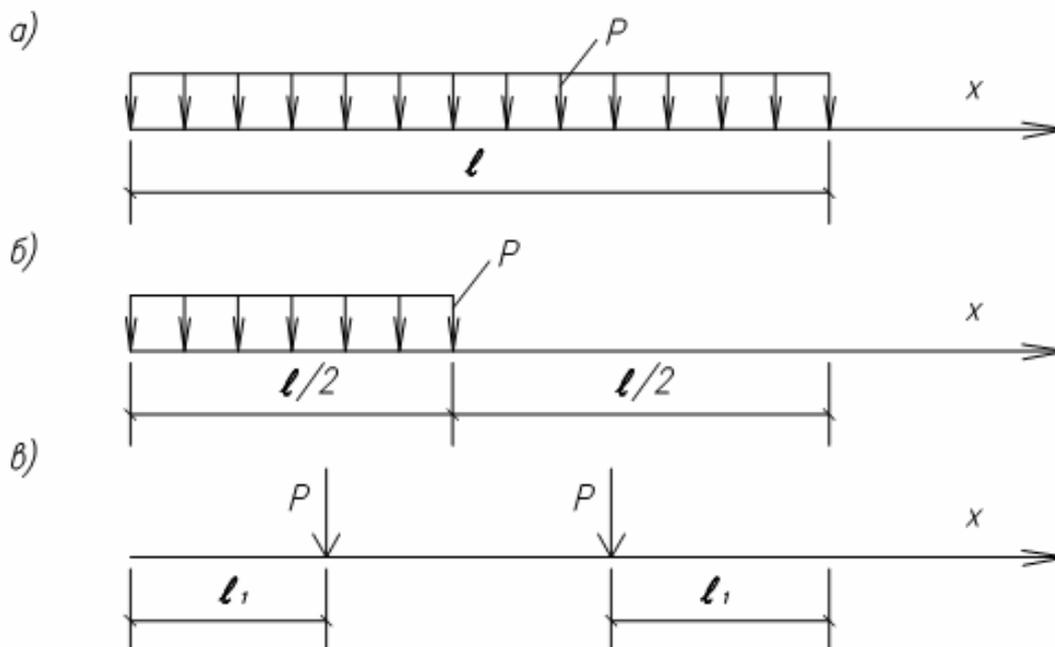


Рис. 3.4. Типы нагрузок

Для определения коэффициентов Фурье разложения функции

$$p(x) = \sum_{m=1}^{\infty} S_m \sin \alpha_m x \quad (\alpha_m = \frac{m\pi}{\ell})$$

используем известное соотношение

$$S_m = \frac{2}{\ell} \int_0^{\ell} p(x) \sin \alpha_m x dx. \quad (3.19)$$

Асимметричная часть нагрузки будет иметь вид

$$p(x) = -\frac{P}{2} \quad (0 \leq x \leq \ell). \quad (3.20)$$

Знак минус берется потому, что эта нагрузка по отношению к ребру – сжимающая (см. рис. 3.3).

Подставив (3.20) в (3.19), получим:

$$S_m = -\frac{P}{m\pi} (1 - \cos m\pi), \quad m = 1, 2, 3... \quad (3.21)$$

или

$$S_m = -\frac{2P}{m\pi}, \quad m = 1, 3, 5...$$

б) Равномерно распределенная нагрузка на половине длины ребра (рис. 3.4б).
В этом случае

$$p(x) = \begin{cases} -\frac{P}{2}, & 0 \leq x \leq \frac{\ell}{2} \\ 0, & \frac{\ell}{2} \leq x \leq \ell \end{cases} \quad (3.22)$$

После подстановки (3.22) в формулу (3.19) получим:

$$S_m = \frac{P}{m\pi} (1 - \cos \frac{m\pi}{2}), \quad m = 1, 2, 3... \quad (3.23)$$

в) Симметрично расположенные сосредоточенные силы P (рис. 3.4в).

Нагрузку $p(x)$ для сосредоточенных сил можно представить через дельтафункцию

$$p(x) = \frac{P}{2} \delta(x - \ell_1) - \frac{P}{2} [x - (\ell - \ell_1)]. \quad (3.24)$$

Из соотношений (3.24) и (3.19) следует, что

$$S_m = -\frac{P}{\ell} \sin \frac{m\pi \ell_1}{\ell} (1 - \cos m\pi), \quad m = 1, 2, 3... \quad (3.25)$$

или

$$S_m = -\frac{2p}{\ell} \sin \frac{m\pi\ell_1}{\ell}, \quad m = 1, 3, 5 \dots$$

Определив произвольные постоянные A_m, B_m, C_m, D_m с помощью соотношений (3.19), (3.13), (3.12), (3.10), можно вычислить напряжения и перемещения в ребре и обшивке панели.

Формулы по определению напряжений и перемещений в ребре будут иметь вид

$$\begin{aligned} \sigma_x^{(1)} &= \sum_{m=1}^{\infty} S_m \left[\bar{A}_m S_1^2 F_{1m}(\eta_1) + \bar{B}_m S_2^2 F_{2m}(\eta_1) \right] \sin m\pi\xi, \\ \sigma_y^{(1)} &= -\sum_{m=1}^{\infty} S_m \left[\bar{A}_m F_{1m}(\eta_1) + \bar{B}_m F_{2m}(\eta_1) \right] \sin m\pi\xi, \end{aligned} \quad (3.26)$$

$$\tau_{x,y}^{(1)} = -\sum_{m=1}^{\infty} S_m \left[\bar{A}_m S_1 F_{3m}(\eta_1) + \bar{B}_m S_2 F_{4m}(\eta_1) \right] \cos m\pi\xi,$$

$$u^{(1)} = -\frac{l}{E_1} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{S_m}{m\pi} \left[\bar{A}_m (S_1^2 + \nu_1) F_{1m}(\eta_1) + \bar{B}_m (S_2^2 + \nu_1) F_{2m}(\eta_1) \right] \cos m\pi\xi, \quad (3.27)$$

$$v^{(1)} = -\frac{l}{E_1} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{S_m}{m\pi} \left[\bar{A}_m S_1 (S_1^2 - c) F_{3m}(\eta_1) + \bar{B}_m S_2 (S_2^2 - c) F_{4m}(\eta_1) \right] \sin m\pi\xi.$$

Формулы по определению напряжений и перемещений в обшивке будут иметь вид

$$\sigma_x^{(2)} = \sum_{m=1}^{\infty} S_m \left\{ \bar{C}_m f_{1m}(\eta_2) + \bar{D}_m [2f_{1m}(\eta_2) + \Delta_m \eta_2 f_{2m}(\eta_2)] \right\} \sin m\pi\xi,$$

$$\sigma_y^{(2)} = -\sum_{m=1}^{\infty} S_m \left[\bar{C}_m f_{1m}(\eta_2) + \bar{D}_m \Delta_m \eta_2 f_{2m}(\eta_2) \right] \sin m\pi\xi, \quad (3.28)$$

$$\tau_{x,y}^{(2)} = -\sum_{m=1}^{\infty} S_m \left\{ \bar{C}_m f_{2m}(\eta_2) + \bar{D}_m [f_{2m}(\eta_2) + \Delta_m \eta_2 f_{1m}(\eta_2)] \right\} \cos m\pi\xi,$$

$$u^{(2)} = -\frac{\ell}{E_0} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{S_m}{m\pi} \left\{ \bar{C}_m (1 + \nu_0) f_{1m}(\eta_2) + \bar{D}_m [2f_{1m}(\eta_2) + (1 + \nu_0) \Delta_m \eta_2 f_{2m}(\eta_2)] \right\} \cos m\pi\xi, \quad (3.29)$$

$$v^{(2)} = \frac{\ell}{E_0} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{S_m}{m\pi} \left\{ \bar{C}_m (1 + v_0) f_{2m}(\eta_2) - \right. \\ \left. - D_m [(1 - v_0) f_{2m}(\eta_2) - (1 + v_0) \Delta_m \eta_2 f_{1m}(\eta_2)] \right\} \sin m\pi\xi,$$

где $\bar{D}_m = [(S_1^2 - v_1)S_2 \operatorname{th} \delta_m S_1 - (S_2^2 + v_1)S_1 \operatorname{th} \delta_m S_2] / \varphi_m$;

$$\bar{A}_m = [S_2 - \frac{2k}{1 + v_0} \operatorname{th} \Delta_m \operatorname{th} \delta_m S_2 \bar{D}_2] f_m;$$

$$\bar{B}_m = -[S_1 - \frac{2k}{1 + v} \operatorname{th} \Delta_m \operatorname{th} \delta_m S_1 \bar{D}_2] f_m;$$

$$\bar{C}_m = \left[\frac{1 - v_0}{1 + v_0} - \frac{\Delta_m}{\operatorname{th} \Delta_m} \right] \bar{D}_m;$$

$$\varphi_m = \frac{2k}{1 + v_0} (S_1^2 - S_2^2) \operatorname{th} \Delta_m \operatorname{th} \delta_m S_1 \operatorname{th} \delta_m S_2 + \frac{E_1}{E_0} \left[(3 - v_0) - (1 + v_0) \frac{2\Delta_m}{\operatorname{sh} 2\Delta_m} \right] \frac{1}{f_m};$$

$$f_m = \frac{1}{S_1 \operatorname{th} \delta_m S_2 - S_2 \operatorname{th} \delta_m S_1};$$

$$F_{1m}(\eta_1) = \frac{\operatorname{sh} \delta_m S_1 \eta_1}{\operatorname{ch} \delta_m S_1}, \quad F_{2m}(\eta_1) = \frac{\operatorname{sh} \delta_m S_2 \eta_1}{\operatorname{ch} \delta_m S_2};$$

$$F_{3m}(\eta_1) = \frac{\operatorname{ch} \delta_m S_1 \eta_1}{\operatorname{ch} \delta_m S_1}, \quad F_{4m}(\eta_1) = \frac{\operatorname{ch} \delta_m S_2 \eta_1}{\operatorname{ch} \delta_m S_2};$$

$$f_{1m}(\eta_2) = \frac{\operatorname{ch} \Delta_m \eta_2}{\operatorname{ch} \Delta_m}, \quad f_{2m}(\eta_2) = \frac{\operatorname{sh} \Delta_m \eta_2}{\operatorname{ch} \Delta_m};$$

$$\delta_m = \frac{m\pi}{2\gamma_1}, \quad \Delta_m = \frac{m\pi}{2\gamma}, \quad \gamma_1 = \frac{\ell}{2a}, \quad \gamma_2 = \frac{\ell}{2b}, \quad k = \frac{\delta}{t}, \quad \xi = \frac{x}{\ell}, \quad \eta_1 = \frac{y}{a}, \quad \eta_2 = \frac{y}{b},$$

где ℓ – длина пластинок 1 (ребра) и 2 (обшивки);

$2a$ – ширина ребра;

$2b$ – ширина обшивки;

$2t$ – толщина ребра;

δ – толщина обшивки.

$$S_{1,2} = \sqrt{a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - b_1}}, \quad a_1 = \frac{E_1}{2G} - v_1,$$

$$b_1 = \frac{E_1}{E_2}, \quad c = \frac{E_1}{G} - v_1 (a_1^2 > b_1),$$

E_1, v_1, E_2, v_2 – упругие характеристики материала ребра по главным направлениям x, y (вдоль и поперек ребра);

E_0, v_0 – модуль упругости и коэффициент Пуассона изотропной обшивки.

Зависимость полученных выражений от нагрузки выражается через коэффициент S_m разложения ее в ряд Фурье.

Для рассматриваемых типов нагрузки имеем:

1-й тип (см. рис. 3.4а)

$$S_m = -\frac{P}{m\pi}(1 - \cos m\pi), m = 1, 3, 5 \dots$$

2-й тип (см. рис. 3.4б)

$$S_m = -\frac{P}{m\pi}(1 - \cos \frac{m\pi}{2}), m = 1, 2, 3 \dots$$

3-й тип (см. рис. 3.4в)

$$S_m = -\frac{P}{\ell} \sin \frac{m\pi\ell_1}{\ell} (1 - \cos m\pi), m = 1, 3, 5 \dots$$

где p – интенсивность равномерно распределенной нагрузки;

P – сосредоточенная сила;

ℓ_1 – координата приложения сосредоточенной силы.

3.2.3. Анализ полученных формул и рекомендации по их использованию

Основные исходные данные, принятые для вычислений напряжений, показаны на рис. 3.5 и в табл. 3.1.

Полученные выражения для напряжений в обшивке и ребре удобнее привести к более простым формулам, а именно:

– нормальные напряжения в обшивке

$$\sigma_0 = \frac{P}{2t} \alpha_0,$$

– максимальные нормальные напряжения в ребре

$$\sigma_p = \frac{P}{2t} \alpha_p,$$

– максимальные касательные напряжения в ребре

$$\tau_{\max} = \frac{P}{2t} \beta.$$

Коэффициенты α_0 , α_p , β для различного шага расстановки деревянных ребер были подсчитаны для ребристой панели с ребрами (44×144 мм) и обшивками из древесно-стружечной плиты ($\delta = 16$ мм). Исходные данные приведены в табл. 3.1. Шаг варьировался, исходя из условий работы панели в системе дома в пределах 300–2400 мм. Значения коэффициентов приведены в табл. 3.1.

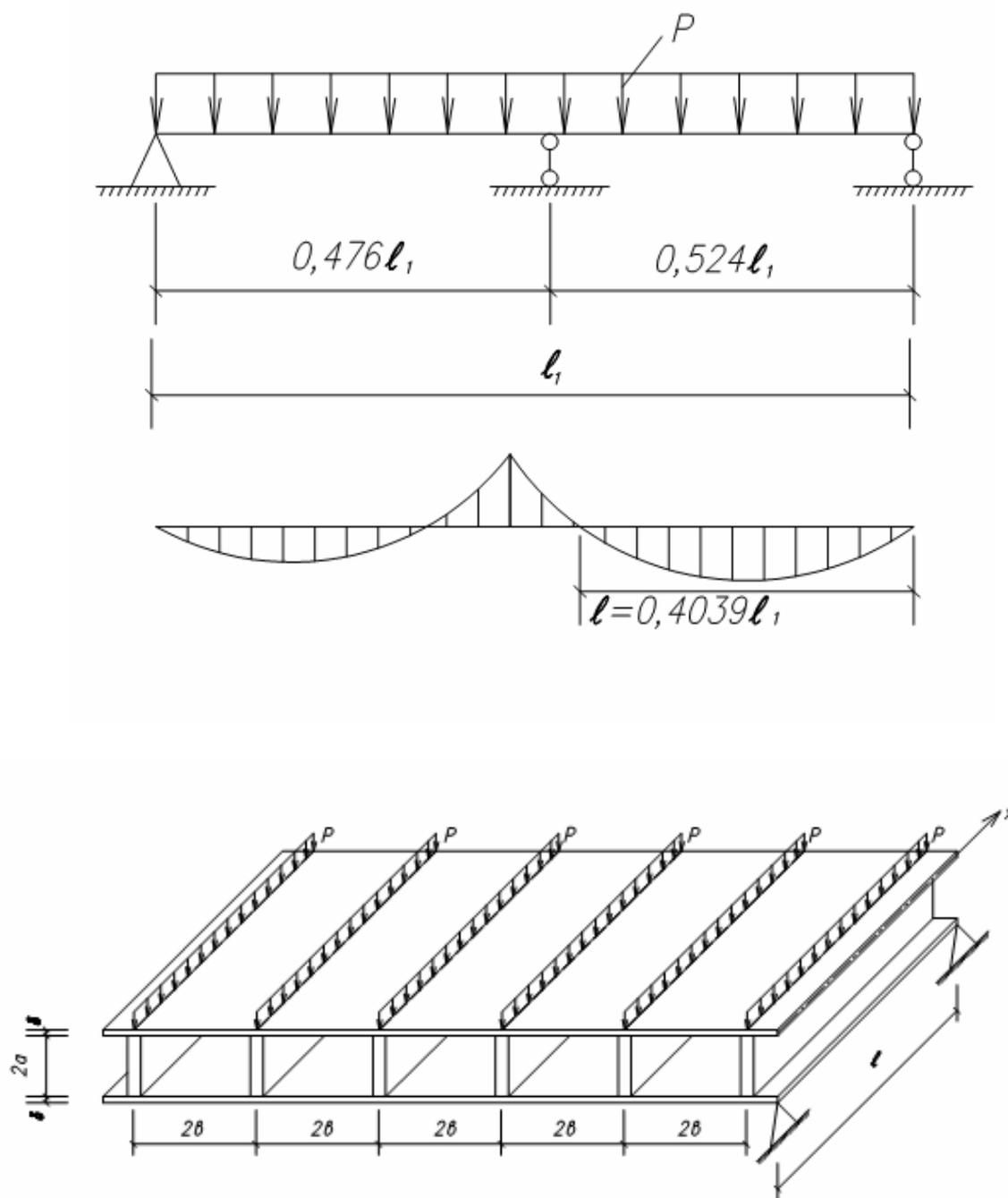
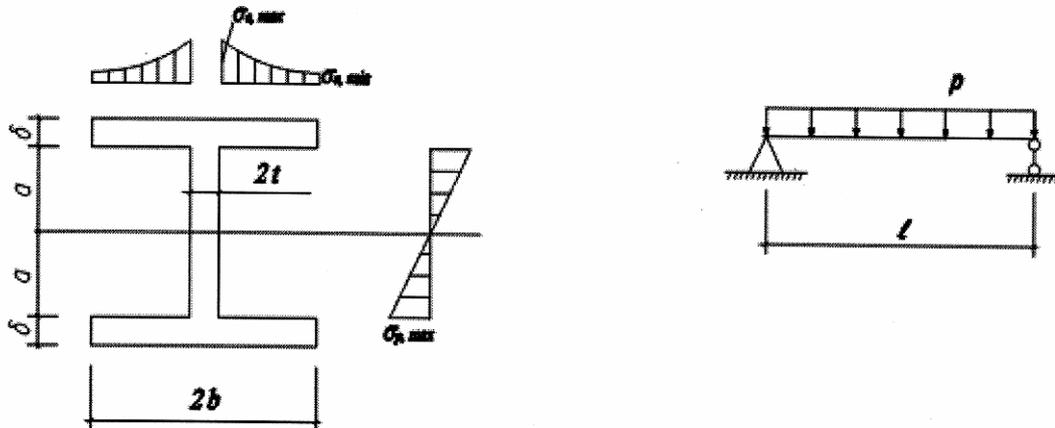


Рис. 3.5. Расчетная схема панели, принятая для вычисления напряжений

Таблица 3.1



$$\frac{E_1}{E_2} = 10; \frac{E_1}{E_0} = 10; \nu_0 = 0,21; \nu_1 = 0,35; \frac{E_1}{G} = 10; \frac{\ell}{2a} = 26,25; \frac{\delta}{t} = 0,7273.$$

$$\sigma_{\min}^{\max} = \frac{p}{2t} \cdot \alpha_{0,\min}^{\max}; \sigma_{p,\min} = \frac{p}{2t} \cdot \alpha_{p,\max}; \tau_{p,\max} = \frac{p}{2t} \cdot \beta_{\max}, \quad (*)$$

где E_1, E_2, ν_1, ν_2 – упругие характеристики материала ребра по главным направлениям;
 E_0, ν_0 – то же обшивки.

№ п/п	$\frac{\ell}{2b}$	Напряжения			
		$\alpha_{0,\min}$	$\alpha_{0,\max}$	$\alpha_{p,\max}$	β_{\max}
1	1,598	7,1122	15,8962	160,26	14,87
2	3,195	16,406	20,443	199,34	15,25
3	4,793	22,487	24,817	239,57	15,66
4	6,390	26,820	28,353	272,63	16,00
5	7,988	30,092	31,183	299,28	16,29
6	9,587	32,657	33,477	320,95	16,53
7	11,18	34,717	35,358	338,77	16,73
8	12,18	35,819	36,376	348,43	16,84

Для инженерных расчетов очень важно знать относительную величину концентрации нормальных напряжений в обшивке в месте примыкания к ней ребра. Поскольку полученные формулы громоздки и требуют только «машинного» вычисления, используем их для сравнения с результатами расчета по приближенным формулам, основанным на теории сопротивления материалов.

Подсчитаем значения коэффициента k , учитывающего неравномерность распределения нормальных напряжений по ширине обшивки, по формуле

$$k = \frac{\sigma_{\text{НОМ}}}{\sigma_{0,\text{МАХ}}}, \quad (3.30)$$

где $\sigma_{\text{НОМ}}$ – нормальные напряжения в обшивке, подсчитаны по формулам сопротивления материалов и осреднены по всей ширине обшивки;

$\sigma_{0,\text{МАХ}}$ – максимальные нормальные напряжения в обшивке, подсчитанные по формулам (*).

Величина напряжения $\sigma_{\text{НОМ}}$ в обшивке равна

$$\sigma_{\text{НОМ}} = \frac{M_{\text{МАХ}}}{W_{x,\text{ПР}}}, \quad (3.31)$$

где $M_{\text{МАХ}} = \frac{p\ell^2}{8}$ – максимальный изгибающий момент в балочной плите;

$$W_{x,\text{ПР}} = \frac{J_{x,\text{ПР}}}{\left(a + \frac{\delta}{2}\right)} = \frac{1}{\left(a + \frac{\delta}{2}\right)} \left\{ \frac{(2a)^3 2t E_1}{12 E_0} + 2 \left[\left(a + \frac{\delta}{2}\right)^2 2b\delta \right] \right\}$$

Подставляя значения $M_{\text{МАХ}}$ и $W_{x,\text{ПР}}$ в формулу (3.31), приведем ее к виду

$$\sigma_{\text{НОМ}} = \frac{p}{2t} \alpha_{\text{НОМ}},$$

$$\text{где } \alpha_{\text{НОМ}} = \frac{\left(\frac{\ell}{2a}\right)^2 \left(1 + \frac{\delta}{2a}\right)}{8 \left[\frac{E_1}{GE_0} + \left(\frac{2b}{\ell} \frac{\ell}{2t}\right) \left(1 + \frac{\delta}{2a}\right)^2 \frac{\delta}{2a} \right]}.$$

При полученных выражениях $\sigma_{\text{НОМ}}$ и $\sigma_{0,\text{МАХ}}$ формула (3.30) примет вид

$$k = \alpha_{\text{НОМ}} / \alpha_{\text{МАХ}}. \quad (3.32)$$

Значения величин $\alpha_{\text{НОМ}}$ и $\alpha_{\text{МАХ}}$ подсчитаны при $\ell/2a = 26,25$; $\delta/2a = 0,1111$; $\ell/2t = 85,909$; $E_1/E_0 = 10$. Результаты вычислений для различного шага расстановки ребер, т.е. отношений $\ell/2b$, приведены в табл. 3.2. По данным табл. 3.2 построен график (рис. 3.6), на котором для сравнения указаны также графики изменения этого коэффициента для различных материалов (алюминий, асбестоцемент, стеклопластик, фанера) по имеющимся литературным данным.

Таблица 3.2

Значения коэффициента $k = \alpha_{\text{ном}} / \alpha_{\text{max}}$ для различного шага ребер

$l / 2b$	1,598	3,195	4,793	6,390	7,988	9,587	11,18	12,18
$\alpha_{\text{ном}}$	10,58	17,87	23,20	27,26	30,48	33,05	35,17	36,33
α_{max}	15,90	20,44	24,82	28,35	31,18	33,48	35,36	36,38
$\alpha_{\text{ном}} / \alpha_{\text{max}}$	0,655	0,874	0,935	0,962	0,977	0,987	0,955	0,999

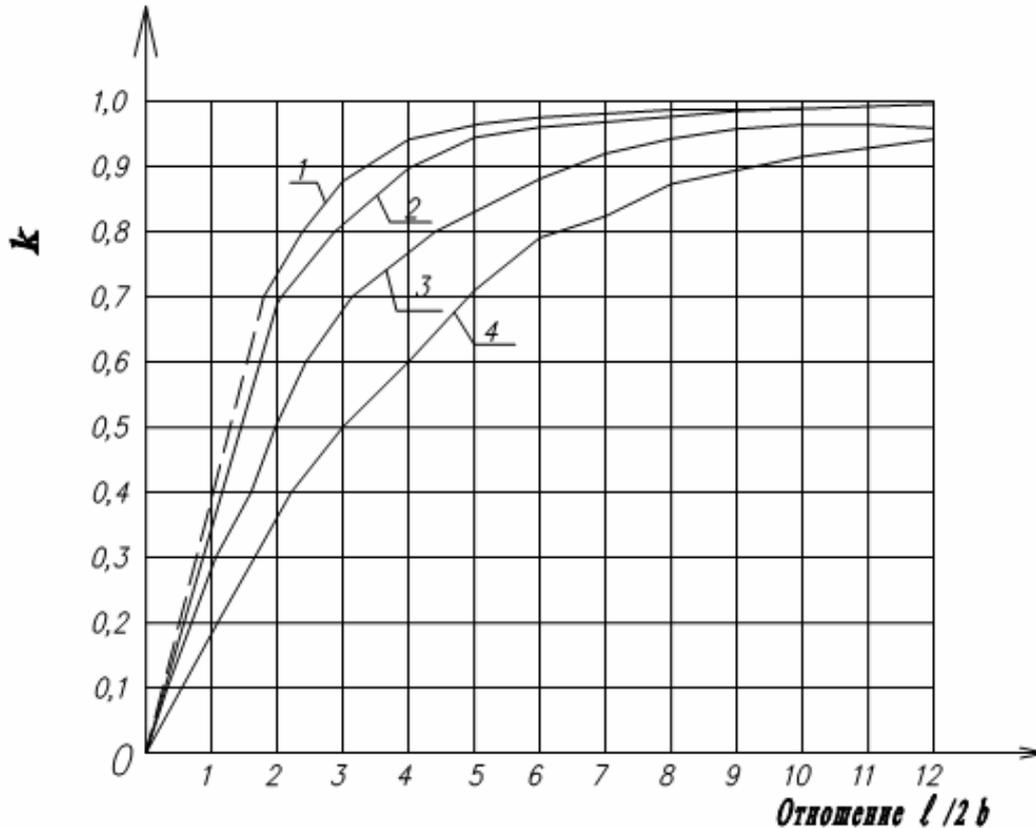


Рис. 3.6. Графики определения коэффициента k :
 1 – для древесно-стружечной плиты; 2 – для алюминия и асбестоцемента;
 3 – для стеклопластика; 4 – для фанеры

Зная величину k , расчет ребристых панелей с обшивками из древесно-стружечных плит можно производить по общепринятой методике расчета клееных комбинированных конструкций, основанной на приведенных сечениях, вводя в расчеты приведенную ширину обшивки, подсчитываемую как

$$b_{\text{пр}} = \sum b_p + k \sum b_0,$$

где $\sum b_p$ – суммарная ширина ребер;

$\sum b_0$ – суммарная ширина расстояний в свету между ребрами.

3.3. Исследование работы панели по схеме неразрезной плиты

3.3.1. Расчетная схема плиты и вывод расчетных формул

В случае работы панели перекрытия по схеме плиты наиболее неблагоприятным вариантом ее опирания является опирание по трем сторонам со свободной четвертой стороной. Как отмечалось, панель является неразрезной с промежуточным опиранием на внутреннюю стену. Для оценки несущей способности и деформативности при указанном варианте опирания используем теорию изгиба тонких плит. При этом учтем, что плита имеет конструктивную анизотропию (ортотропию) вследствие наличия продольных несущих ребер.

Как известно [35], задача изгиба тонкой ортотропной прямоугольной пластинки, у которой оси x и y совпадают с главными направлениями упругости, сводится к интегрированию дифференциального уравнения изогнутой поверхности.

$$D \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} = g(x, y), \quad (3.33)$$

где $W(x, y)$ – прогиб срединной поверхности;

$g(x, y)$ – нормальная нагрузка.

Внутренние усилия, действующие по граням выделенного элемента (рис. 3.7а), определяются с помощью следующих соотношений:

$$\begin{aligned} M_x &= -D_1 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu_2 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right), \\ M_y &= -D_2 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \nu_1 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right), \end{aligned} \quad (3.34)$$

$$M_{x,y} = M_{y,x} = -2D_k \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y},$$

$$Q_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_1 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + D_3 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right), \quad (3.35)$$

$$Q_y = -\frac{\partial}{\partial y} \left(D_3 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + D_2 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right),$$

где M_x, M_y – изгибающие моменты;

$M_{x,y}, M_{y,x}$ – крутящие моменты;

Q_x, Q_y – поперечные силы, отнесенные к единице длины.

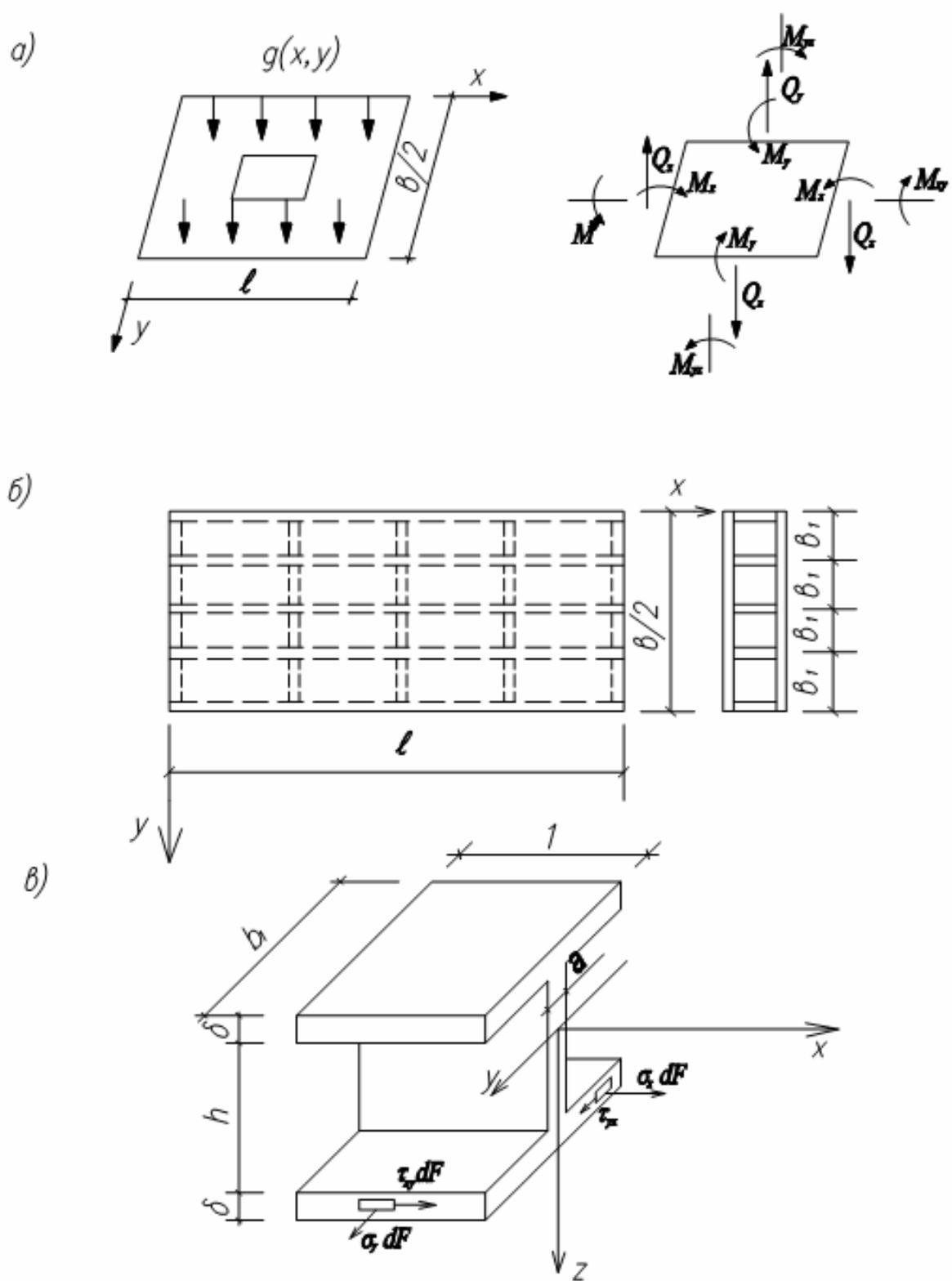


Рис. 3.7. Расчетная схема

Обобщенные поперечные силы определяются с помощью уравнений

$$R_x = Q_x + \frac{\partial M_{x,y}}{\partial y}, \quad (3.36)$$

$$R_y = Q_y + \frac{\partial M_{x,y}}{\partial x}.$$

Главные жесткости изгиба и кручения D_1, D_2, D_k , коэффициенты Пуассона для главных направлений (оси x и y) ν_1 и ν_2 зависят от механических свойств материалов и толщины пластинки. Упругая постоянная D_3 , входящая в уравнение (3.33), определяется через главные жесткости по формуле

$$D_3 = D_1\nu_1 + 2D_k. \quad (3.37)$$

Для определения главных жесткостей и коэффициентов Пуассона пластинок рассматривалась прямоугольная двухслойная пластинка (рис. 3.7б), усиленная ребрами жесткости в направлении оси x . Было принято, что материал листов и ребер однороден и изотропен, модуль упругости и коэффициент Пуассона для них соответственно обозначены E, ν и E_0, ν_0 .

Используя метод «размазывания» [44], сведем расчет такой пластинки к расчету однородной ортотропной пластинки. Для этого из пластинки выделим элемент (рис. 3.7в) и найдем величины $M_x, M_y, M_{x,y}$, отнесенные к единице длины. Размер элемента вдоль оси x принят равным единице, а вдоль оси y – расстоянию между ребрами b_1 .

Усилия, действующие по граням выделенного элемента, выразим через напряжения

$$\begin{aligned} m_x &= \int_{F_x} \sigma_x Z dF, \\ m_y &= \int_{F_y} \sigma_y Z dF, \\ m_{x,y} &= \int_{F_x} \tau_{x,y} Z dF, \\ m_{y,x} &= \int_{F_y} \tau_{y,x} Z dF, \end{aligned} \quad (3.38)$$

где F_x, F_y – поперечные сечения элемента, перпендикулярные к осям x и y .

При вычислении крутящего момента $M_{y,x}$ жесткостью кручения ребра будем пренебрегать.

При определении усилий (3.38) используем зависимости:

➤ для листов

$$\sigma_x = -\frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) Z,$$

$$\sigma_y = -\frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) Z, \quad (3.39)$$

$$\tau_{x,y} = \tau_{y,x} = -\frac{E}{1+\nu} \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} Z;$$

➤ для ребер

$$\sigma_x = -E_0 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} Z. \quad (3.40)$$

Подставляя (3.39), (3.40) в (3.38), искомые усилия можно представить в виде

$$m_x = -D_1 b_1 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu_2 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right),$$

$$m_y = -D_2 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \nu_1 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right),$$

$$m_{x,y} = -2D_k b_1 \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y}, \quad m_{y,x} = -2D_k \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y}.$$

Усилия, отнесенные к единице длины, будут равны

$$M_x = -D_1 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu_2 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right),$$

$$M_y = -D_2 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \nu_1 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right),$$

$$M_{x,y} = M_{y,x} = -2D_k \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y},$$

где $D_1 = \frac{EJ}{1-\nu^2} + \frac{E_0 J_0}{b_1}$, $D_2 = \frac{EJ}{1-\nu^2}$, $D_k = \frac{EJ}{2(1+\nu)}$, $\nu_1 = \nu$,

$$\nu_2 = \nu_1 \frac{D_2}{D_1}, \quad J = \frac{(hp + 2\delta)^3}{12} - \frac{h_p^3}{12}, \quad J_0 = \frac{dh_p^3}{12}. \quad (3.41)$$

Из соотношений (3.41) и (3.37) получим:

$$D_1 = D_2 + \frac{E_0 J_0}{b_1}, \quad D_3 = D_2.$$

Окончательно получим:

$$D_2 = \frac{EJ}{1-\nu^2}, \quad D_1 = D_2 + \frac{E_0 J_0}{b_1}, \quad D_3 = D_2, \quad D_k = \frac{1-\nu_0}{2} D_2,$$

$$v_1 = \nu, v_2 = \nu_1 \frac{D_2}{D_1}, J = \frac{(h_p + 2\delta)^3 - h_p^3}{12}, J_0 = \frac{dh_p^3}{12}, \quad (3.42)$$

где d – толщина ребра;

δ – толщина обшивки;

h_p – высота ребра;

b_1 – расстояние между ребрами;

E – модуль упругости материала обшивки;

ν – коэффициент Пуассона материала обшивки;

E_0 – модуль упругости материала ребра.

Учитывая выражения (3.42) для главных жесткостей, представим основные уравнения (3.33)–(3.36) в более простом виде. Для этого введем отношение жесткостей

$$d_1 = D_1/D_2,$$

и все жесткости, входящие в уравнения (3.33)–(3.35), выразим через D_2 .

В результате преобразований получим:

$$\Delta_1 W = d_1 \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial x^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} = \frac{g(x, y)}{D_2},$$

$$M_x = -D_2 d_1 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu_2 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right),$$

$$M_y = -D_2 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \nu_1 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right),$$

$$M_{x,y} = M_{y,x} = -(1 - \nu_1) \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y},$$

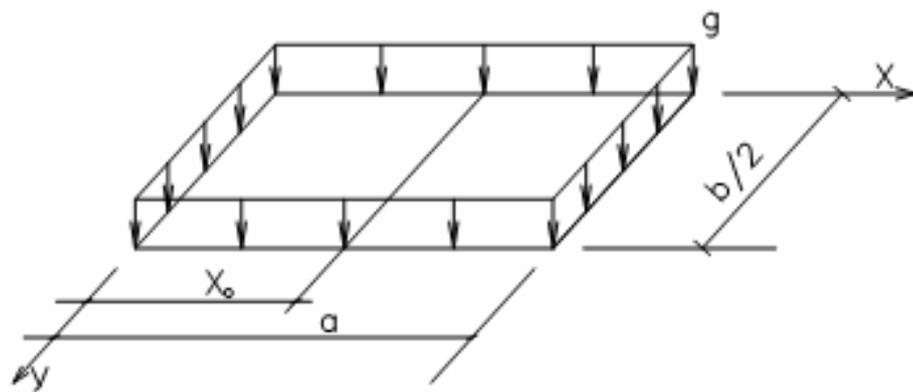
$$R_x = -D_2 \left[d_1 \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} + (2 - \nu_1) \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial y^2} \right],$$

$$R_y = -D_2 \left[\frac{\partial^3 W}{\partial x^3} + (2 - \nu_1) \frac{\partial^3 W}{\partial x^2 \partial y} \right].$$

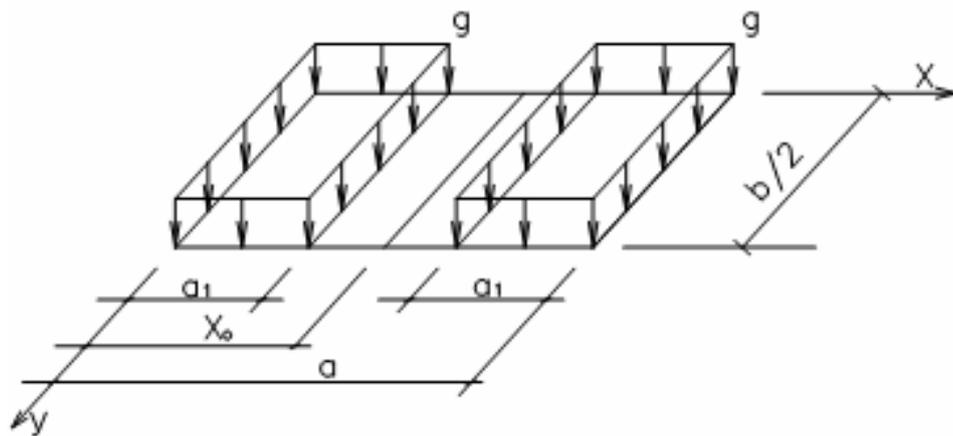
Для того чтобы получить решение от конкретной нагрузки, необходимо подставить в общее решение приведенные в (3.33)–(3.35) коэффициенты разложения этой нагрузки в ряды Фурье.

Рассматривался изгиб неразрезной пластинки под действием нагрузок, показанных на рис. 3.8. Характер действующих нагрузок принят исходя из реальной действующей нагрузки на панель перекрытия для дома с мансардой.

1 mun



2 mun



3 mun

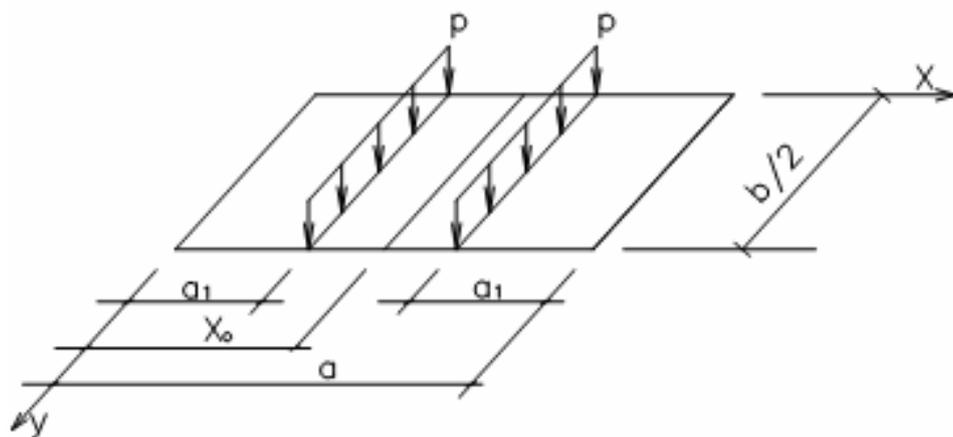


Рис. 3.8. Типы нагрузок на панель

Решение для указанных типов нагрузок можно представить в единой форме:

$$W = W_g^{(1)} - W_g^{(2)} + W_k^{(1)} - W_k^{(2)};$$

$$M_x = M_{g,x}^{(1)} - M_{g,x}^{(2)} + W_{k,x}^{(1)};$$

$$M_y = M_{g,y}^{(1)} - M_{g,y}^{(2)} + M_{k,y}^{(1)} - M_{k,y}^{(2)},$$

где

$$W_g^{(1)} = W_0 \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \frac{\bar{g}_{m,n}}{\pi^4 d_{m,n}} \varphi_{m,n}(\xi, \eta);$$

$$W_{g,x}^{(1)} = M_0 \sum_{\substack{m=1,3,5, \\ n=1,3,5}}^{\infty} \frac{\bar{g}_{m,n} (m^2 + \gamma^2 v_2 n^2)}{\pi^2 d_{m,n}} \varphi_{m,n}(\xi, \eta);$$

$$W_{g,y}^{(1)} = M_0 \sum_{\substack{m=1,3,5, \\ n=1,3,5}}^{\infty} \frac{\bar{g}_{m,n} (\gamma^2 n^2 + v_1 m^2)}{\pi^2 d_{m,n}} \varphi_{m,n}(\xi, \eta);$$

$$M_g^{(2)} = W_0 \sum_{m=1,3,5}^{\infty} y_m(\eta) \sin m\pi\xi;$$

$$M_{g,x}^{(2)} = -M_0 d_1 \left(\frac{\partial^2 W_g^{(2)}}{\partial x^2} + v_2 \frac{\partial^2 W_g^{(2)}}{\partial x^2} \right);$$

$$M_{g,y}^{(2)} = -M_0 \left(\frac{\partial^2 W_g^{(2)}}{\partial y^2} + v_1 \frac{\partial^2 W_g^{(2)}}{\partial x^2} \right);$$

$$Y_m(\eta) = M_m [\alpha_m F_{1m}(\eta) + d_m F_{2m}(\eta)] / (m\pi)^2;$$

$$\frac{\partial^2 W_g^{(2)}}{\partial x^2} = - \sum_{m=1,3,5}^{\infty} M_m [\alpha_m F_{1m}(\eta) + d_m F_{2m}(\eta)] \cdot \sin m\pi\xi;$$

$$\frac{\partial^2 W_g^{(2)}}{\partial y^2} = - \sum_{m=1,3,5}^{\infty} M_m \left\{ \alpha_m \left[(t^2 - S^2) F_{1m}(\eta) + 2tSF_{2m}(\eta) \right] + \right. \\ \left. + d_m \left[(t^2 - S^2) F_{2m}(\eta) - 2tSF_{1m}(\eta) \right] \right\} \cdot \sin m\pi\xi;$$

$$M_m = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{\bar{g}_{m,n} (\gamma^2 n^2 + v_1 m^2)}{\pi^2 d_{m,n}} \cdot \sin \frac{n\pi}{2}; \quad (3.43)$$

$$W_k^{(1)} = \frac{\ell^4}{D_2} \sum_{\substack{m=1,3,5, \\ n=1,3,5}}^{\infty} \frac{2 \bar{F}_n \sin m\pi\xi_0}{\pi^4 d_{m,n}} \varphi_{m,n}(\xi, \eta);$$

$$\begin{aligned}
W_{k,x}^{(1)} &= \ell^2 \sum_{\substack{m=1,3,5, \\ n=1,3,5,}}^{\infty} \frac{2d_1 \bar{p}_n \sin m\pi\xi_0 (m^2 + \gamma^2 v_2 \eta^2)}{\pi^2 d_{m,n}} \varphi_{m,n}(\xi, \eta); \\
W_{k,y}^{(1)} &= \ell^2 \sum_{\substack{m=1,3,5, \\ n=1,3,5,}}^{\infty} \frac{d_1 \bar{p}_n \sin m\pi\xi_0 (\gamma^2 \eta^2 + v_1 m^2)}{\pi^2 d_{m,n}} \varphi_{m,n}(\xi, \eta); \\
\bar{p}_n &= \frac{p_n}{\ell}; \quad W_k^{(2)} = \frac{\ell^4}{D_2} \sum_{m=1,3,5,} y_m(\eta) \sin m\pi\xi; \\
M_{k,x}^{(2)} &= -\ell^2 d_1 \left(\frac{\partial^2 W_k^{(2)}}{\partial x^2} + v \frac{\partial^2 W_k^{(2)}}{\partial y^2} \right); \\
M_{k,y}^{(2)} &= -b^2 \left(\frac{\partial^2 W_k^{(2)}}{\partial y^2} + v \frac{\partial^2 W_k^{(2)}}{\partial x^2} \right). \tag{3.44}
\end{aligned}$$

Выражения для y_m , $\partial^2 W_k^{(2)} / \partial x^2$, $\partial^2 W_k^{(2)} / \partial y^2$, входящие в формулы (3.44), имеют такой же вид, как и (3.43). Отличие заключается в том, что коэффициенты M_m определяются с помощью нового соотношения

$$M_m = \ell^2 \sum_{n=1,3,5,}^{\infty} \frac{2\bar{p}_n \sin m\pi\xi_0 (\gamma^2 n^2 + v_1 m^2)}{d_{m,n}} \cdot \sin \frac{n\pi}{2}.$$

Тип нагрузки учитывается коэффициентами $\bar{g}_{m,n}$, W_0 , M_0 . Значения этих коэффициентов для трех типов нагрузки приведены в табл. 3.3.

Т а б л и ц а 3.3

Значение коэффициентов $\bar{g}_{m,n}$, W_0 , M_0

Тип нагрузки	$\bar{g}_{m,n}$	W_0	M_0
1	$\frac{16}{mn\pi^2}$	$\frac{q\ell^4}{D_2}$	$q\ell^2$
2	$\frac{16}{mn\pi^2} \cos \frac{mn\ell_1}{\ell}$	$\frac{q\ell^4}{D_2}$	$q\ell^2$
3	$\frac{16}{mn\pi^2} \cos \frac{mn\ell_1}{\ell}$	$\frac{q\ell^3}{D_2}$	$P\ell$

Значения остальных величин, входящих в формулы (3.43), (3.44), определяются с помощью следующих соотношений:

$$d_{m,n} = d_1 m^4 + 2\gamma^2 m^2 n^2 + \gamma^4 n^2; \quad d_1 = \frac{D_1}{D_2}; \quad \gamma = \frac{\ell}{b};$$

$$\varphi_{m,n}(\xi, \eta) = \sin m\pi\xi \cdot \sin n\pi\eta; \quad \xi = \frac{x}{\ell}; \quad \eta = \frac{y}{b};$$

$$F_{1m}(\eta) = \cos(2\delta_m t \eta) \frac{Sh(2\delta_m S \eta)}{Ch(\delta_m S)},$$

$$F_{2m}(\eta) = \sin(2\delta_m t \eta) \frac{Ch(\delta_m S \eta)}{Ch(\delta_m S)},$$

$$\alpha_m = \frac{(-\ell \cos \delta_m t + Z \sin \delta_m t \cdot th \delta_m S)}{(2Ath \delta_m S + B \sin 2\delta_m t / Ch^2 \delta_m S)},$$

$$d_m = \frac{\ell \sin \delta_m t \cdot th \delta_m S + Z \cos \delta_m t}{2Ath \delta_m S + B \sin 2\delta_m t / Ch^2 \delta_m S},$$

$$A = -\frac{(e\ell + fZ)}{2}, \quad B = -\frac{(eZ + f\ell)}{2},$$

$$e = (-t^2 + S^2 - \nu_1), \quad f = 2tS, \quad \ell = t(t^2 + 3S^2 + 2 - \nu_1),$$

$$Z = S(S^2 - 3t - 2 + \nu_1), \quad \delta_m = \frac{m\pi}{2\gamma}, \quad S = \sqrt{\frac{1}{2}(1 + \sqrt{d_1})},$$

$$t = \sqrt{\frac{1}{2}(-1 + \sqrt{d_1})}.$$

Кроме того, для заданной пластинки с помощью соотношений (3.42) необходимо определить главные изгибные жесткости D_1 , D_2 и коэффициенты Пуассона ν_1 , ν_2 .

С помощью полученных формул производился расчет неразрезной пластинки. Для этого сначала вычислялись контактные усилия, т.е. из условия контакта

$$W = W_g^{(1)} - W_g^{(2)} + W_k^{(1)} - W_k^{(2)}$$

при $\xi = \xi_0$ определялись коэффициенты \bar{P}_n , а затем прогибы и изгибающие моменты пластинки.

3.3.2. Анализ полученных формул

В частном случае задачи при определении прогибов и изгибающих моментов принималась панель с параметрами: $L_{\text{п}} = 9,5$ м; $B_{\text{п}} = 2,4$ м; $H_{\text{п}} = 0,176$ м. Характер действующих нагрузок, принятых при этом, показан на рис. 3.8. Были определены изгибающие моменты и прогибы, а

затем построены эпюры изгибающих моментов и графики прогибов. Эпюры изгибающих моментов в панели, работающей как плита, опертая по трем сторонам, приведены на рис. 3.9, графики прогибов – на рис. 3.10.

На рис. 3.11 и 3.12 для сравнения работы панели приведены эпюры изгибающих моментов и графики прогибов в панели, подсчитанные как для двухпролетной неразрезной балки от тех же нагрузок, что приняты в расчетах панели по схеме неразрезной плиты. С этой целью предварительно были произведены расчеты двухпролетной (с разными пролетами) балки и получены формулы соответственно для изгибающих моментов и прогибов:

- при действии равномерно распределенной нагрузки по всей длине балки

$$M_{q_1} = \frac{q_1(\ell_1^3 + \ell_2^3)}{S(\ell_1 + \ell_2)},$$

$$f_{(x)} = \frac{q_1 \ell^4}{EJ} \left[-1,9975 \cdot 10^{-3} \frac{x}{\ell} + 0,1709 \frac{\left(\frac{x}{\ell}\right)^3}{6} - \frac{\left(\frac{x}{\ell}\right)^4}{24} + 0,6262 \frac{\left(\frac{x}{\ell} - 0,476\ell\right)^3}{6} \right],$$

- при действии равномерно распределенной нагрузки в средней части балки

$$M_{q_2} = -\frac{q_1}{8(\ell_1 + \ell_2)} \left[\frac{(\ell_1^2 - a^2)^2}{\ell_1} + \frac{(\ell_2^2 - a^2)^2}{\ell_2} \right],$$

$$f_{(x)} = \frac{q_2 \ell^4}{EJ} \left[-5,003 \cdot 10^{-4} \frac{x}{\ell} + 0,021331 \frac{\left(\frac{x}{\ell}\right)^3}{6} - \frac{\left(\frac{x}{\ell} - 0,233\ell\right)^4}{4} + 0,4688 \frac{\left(\frac{x}{\ell} - 0,476\ell\right)^3}{6} + \frac{\left(\frac{x}{\ell} - 0,767\ell\right)^4}{24} \right];$$

- при действии сосредоточенных сил P

$$M_P = \frac{P}{2(\ell_1 + \ell_2)} \left[\frac{a(\ell_1^2 - a^2)}{\ell_1} + \frac{d(\ell_2^2 - a^2)}{\ell_2} \right],$$

$$f_{(x)} = \frac{1}{EJ} \left[-7,023 \cdot 10^{-3} P \ell^3 x + 0,31902 \cdot P \frac{x^3}{6} - P \frac{(x - 0,233\ell)^3}{6} + 1,2996 \cdot P \frac{(x - 0,476\ell)^3}{6} - P \frac{(x - 0,767\ell)^3}{6} \right].$$

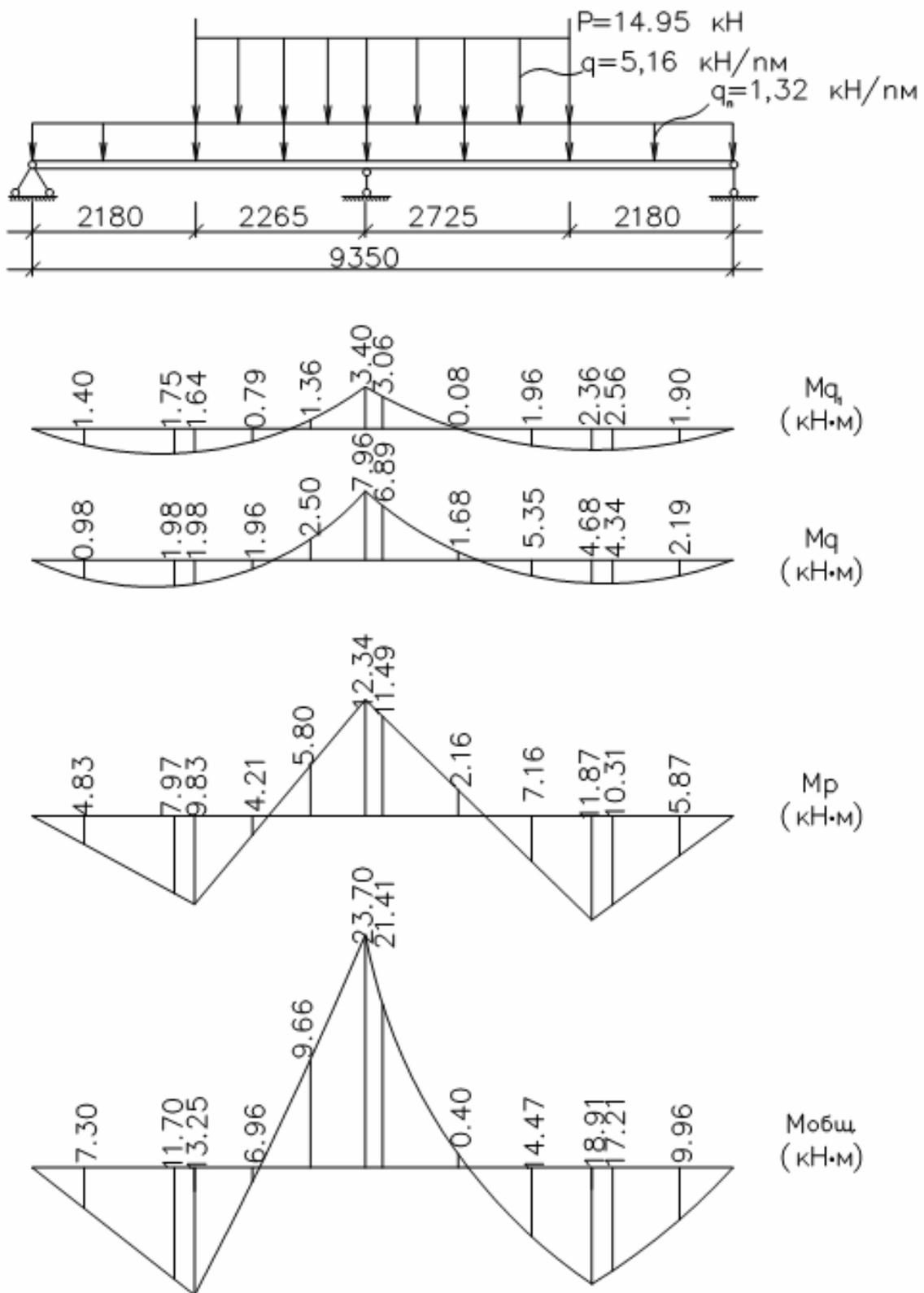


Рис. 3.9. Эпюры изгибающих моментов в панели при ее работе по схеме плиты

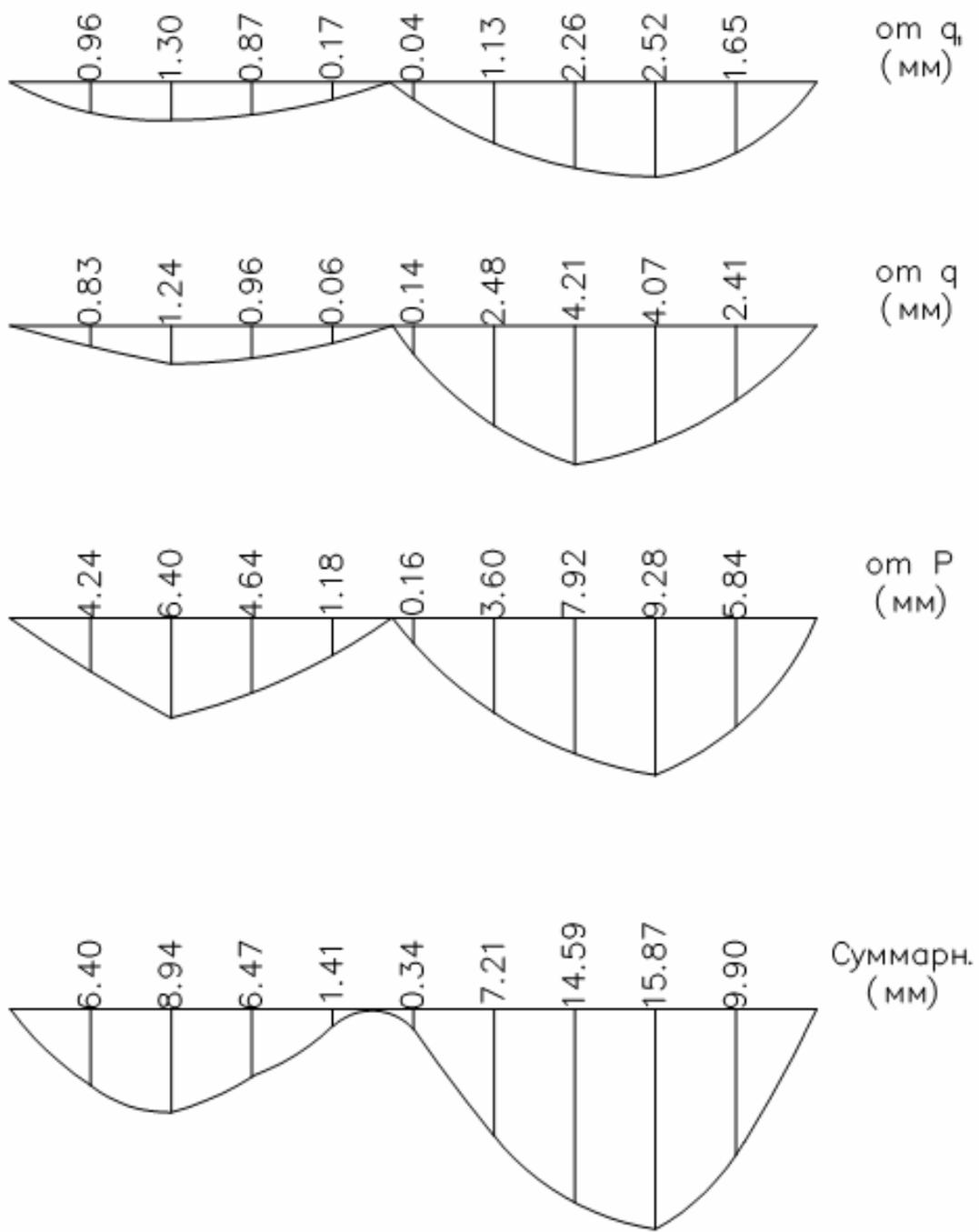


Рис. 3.10. Графики прогибов в панели при ее работе по схеме плиты

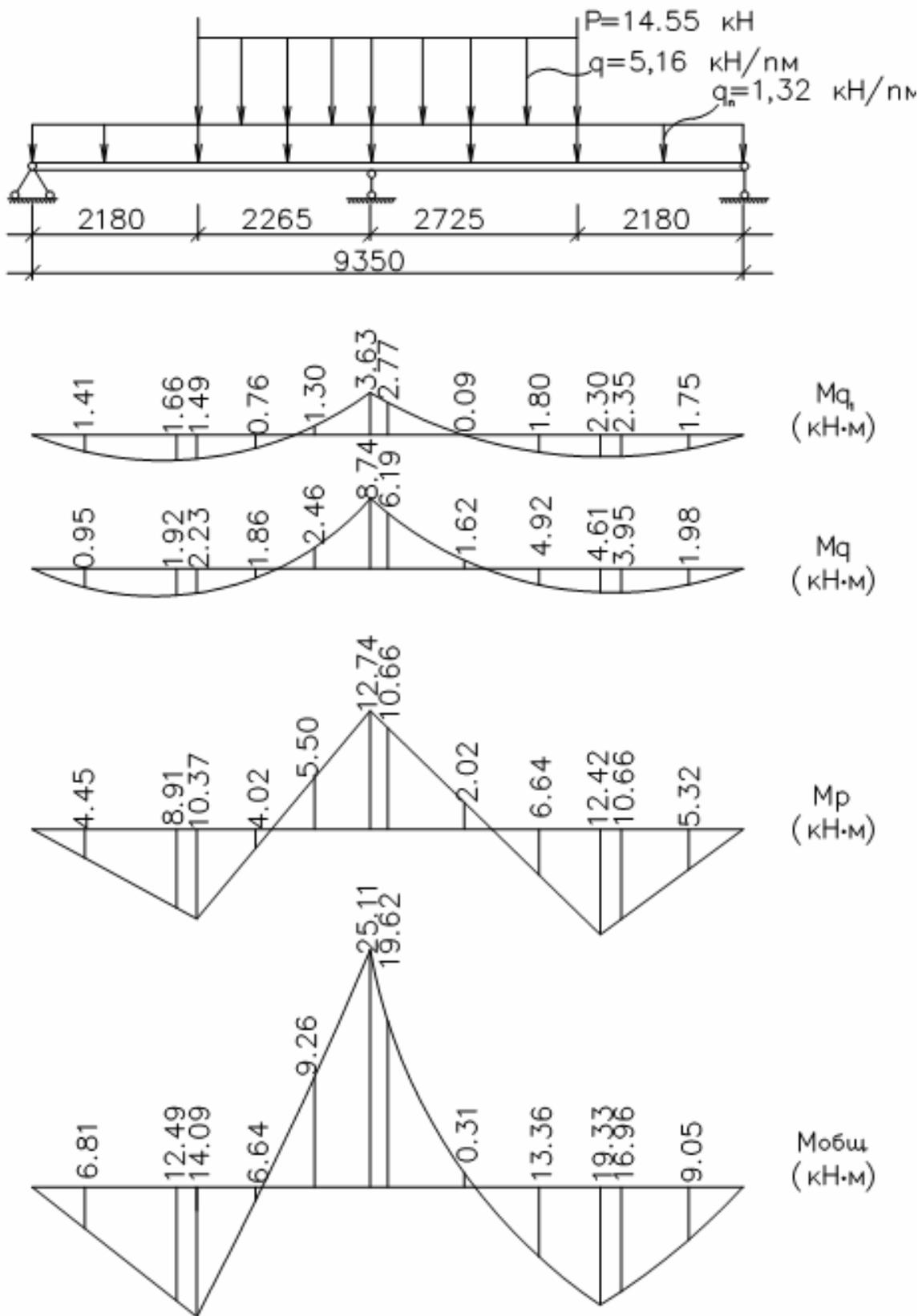


Рис. 3.11. Эпюры изгибающих моментов в панели при ее работе по схеме двухпролетной балки

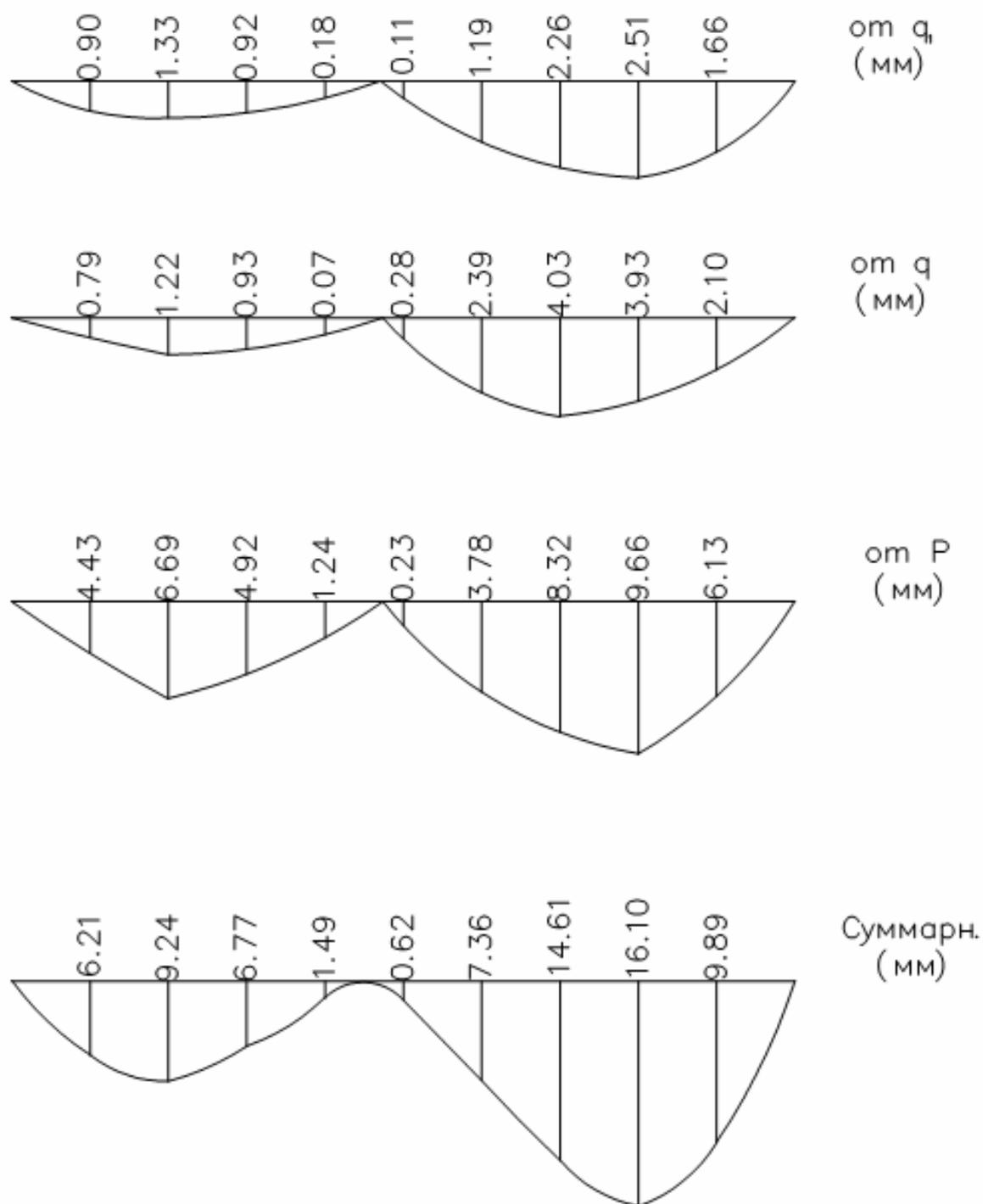


Рис. 3.12. Графики прогибов панели при ее работе по схеме двухпролетной балки

Сопоставляя величины изгибающих моментов, возникающих в панели при ее работе по схеме двухпролетной балки (см. рис. 3.11) и по схеме плиты (см. рис. 3.9), а также сравнивая значения прогибов, получаемых панелью при работе ее как балки (см. рис. 3.12) и как плиты (см. рис. 3.10), можно отметить, что работа панели как двухпролетной балки наиболее неблагоприятная, так как при такой работе возникают бóльшие изгибающие моменты и панель получает бóльшие прогибы.

Методами теории упругости анизотропного тела решена задача по определению напряженно-деформированного состояния элементов ребристых панелей. Получены теоретические формулы для вычисления напряжений и перемещений в обшивках и ребрах панели.

Проделаны вычисления величин напряжений в обшивках и ребрах применительно к панелям, используемым в качестве перекрытий малоэтажных домов. На основе анализа результатов вычислений получены закономерности зависимости степени концентрации напряжений в обшивках от частоты расставленных ребер. Установлено, что с увеличением шага расстановки ребер возрастает степень концентрации нормальных напряжений в обшивках панелей.

Для практических расчетов ребристых панелей с применением обшивок из древесно-стружечных плит рекомендованы графики определения коэффициентов в зависимости от расчетной ширины сечения, которые позволяют произвести расчеты по приближенным, но достаточно точным формулам без использования ЭВМ. Рекомендован практический метод расчета ребристых панелей с обшивками из древесно-стружечных плит, учитывающий действительную работу обшивок и ребер.

В целях анализа действительной работы панели и отыскания наиболее неблагоприятной расчетной схемы ее с учетом реальных условий эксплуатации в домах рассматриваемых серий выполнены теоретические расчеты панели, работающей по схеме неразрезной балки и плиты. Получены формулы для определения усилий и перемещений в панели.

Результаты расчета показали, что наиболее неблагоприятной схемой работы панели перекрытия, имеющей промежуточную опору, является схема неразрезной балки. В этом случае значения расчетных усилий в панели несколько больше, чем в неразрезной плите. Наличие опоры по одной из длинных сторон панели, создающей ей условия работы по схеме плиты, уменьшает максимальные величины изгибающих моментов на 6 % и прогибов – на 2 %.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПАНЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Экспериментальные исследования ребристых панелей с обшивками из древесно-стружечных плит были проведены с целью проверки результатов и основных положений, принятых при теоретических исследованиях, а также проверки качества и надежности панелей с применением древесно-стружечных плит. Основными задачами исследования панелей были следующие:

- проверить совместную работу обшивок и ребер и определить долю участия обшивок в работе;
- выявить характер распределения напряжений по ширине и высоте панели;
- сравнить результаты теоретических исследований с результатами эксперимента;
- оценить качество и надежность работы выпускаемых комбинатом полносборного домостроения панелей, разработать рекомендации по повышению качества панелей и совершенствованию технологии их изготовления;
- на основе полученных экспериментально-теоретических исследований разработать более совершенные конструктивные решения панелей.

4.1. Методика испытания панелей

Испытания проводились на натуральных панелях, предназначенных для перекрытия полносборных деревянных домов, выпускаемых Пензенским домостроительным комбинатом.

При разработке методики испытания панелей были учтены требования ГОСТов [8, 11, 45], а также положения, изложенные в рекомендациях [51, 52] и руководствах [56, 57].

Учитывая специфику и особенности работы клееных конструкций, выполненных из двух различных материалов – древесины и древесно-стружечной плиты, а также отсутствие рекомендаций по оценке работы таких конструкций по сложной статической схеме, было разработано «Руководство по проведению натуральных испытаний панельных конструкций полносборных деревянных домов с применением древесно-стружечных плит» [6], которое в дальнейшем было положено в основу проведения натуральных испытаний.

Для проведения натуральных испытаний было изготовлено пять панелей, замаркированных в дальнейшем как ПРК-1, ПРК-2, ПРК-3, ПРК-4, ПРК-5. Общий вид панели, принятой для проведения эксперимента, и ее размеры

показаны на рис. 4.1. Конструктивное решение панели принималось таким же, как и при проведении теоретических исследований, т.е. панель имела ребристую систему, состоящую из несущих ребер и двух обшивок. Продольные несущие ребра изготавливались из цельных досок сечением 44 x 144 мм, стыки досок по длине ребер располагались вразбежку и выполнялись на парных накладках, приклеенных клеем ФР-12. Обшивки выполнялись из древесно-стружечной плиты толщиной 16 мм. Ввиду того что плита выпускается размером в плане 2500x2500 мм, по длине панели обшивки также имели стык. Соединение обшивок с ребрами выполнялось на клею с применением карбамидного клея марки КФмт. Размеры панели в плане принимались равными размерам панелей, принимаемых в деревянных полносборных домах серии «101», т.е. равными 9500x2400 мм.

За расчетную схему испытания принималась двухпролетная балка с пролетами l_1 и l_2 , так как такая схема наиболее близка к действительной работе одной из панелей в системе дома с мансардным этажом и отражает наиболее опасный случай ее работы. Схема нагружения панели в процессе испытаний показана на рис. 4.2.

Указанная схема нагружения имитировала действие постоянной нагрузки от собственного веса ($q_{с.в.}$), полезной равномерно распределенной нагрузки (q) от жилого этажа мансарды и сосредоточенной нагрузки (P) от стен мансарды и вышележащих конструкций дома, передающих свою нагрузку на стены мансарды. В процессе испытания равномерно распределенная нагрузка создавалась с помощью пневматических подушек, а сосредоточенная нагрузка – с помощью гидравлических домкратов и передаточных траверс.

Нагрузка на панель прикладывалась этапами. На каждом этапе делалась выдержка для осмотра панели и снятия отсчетов по приборам. Схема расположения приборов показана на рис. 4.3. При испытании панели применялась измерительная аппаратура, позволяющая фиксировать деформации и прогибы как по длине, так и по ширине панели.

Для измерения перемещений точек панели использовались прогибомеры 6-ПАО с ценой деления 0,01 мм. Схема расстановки их показана на рис. 4.3. Прогибомеры были установлены в шести точках по длине панели с каждой ее продольной стороны, для того, чтобы зафиксировать изменение перемещений панели как по ее длине, так и по ширине.

При испытании ребристой конструкции представляет интерес знание деформаций и в ребрах, и в обшивках панели. Для этой цели были использованы тензометры ТА-2 с ценой деления 0,001 мм. Схема расстановки тензометров показана на рис. 4.3. Для фиксирования изменения деформации по ширине панели на верхнюю обшивку в большем пролете было поставлено по четыре тензометра с каждой стороны панели. Для фиксирования изменения деформации в ребре панели было установлено по два тензометра у кромок ребер в большем пролете и над средней опорой с каждой стороны панели.

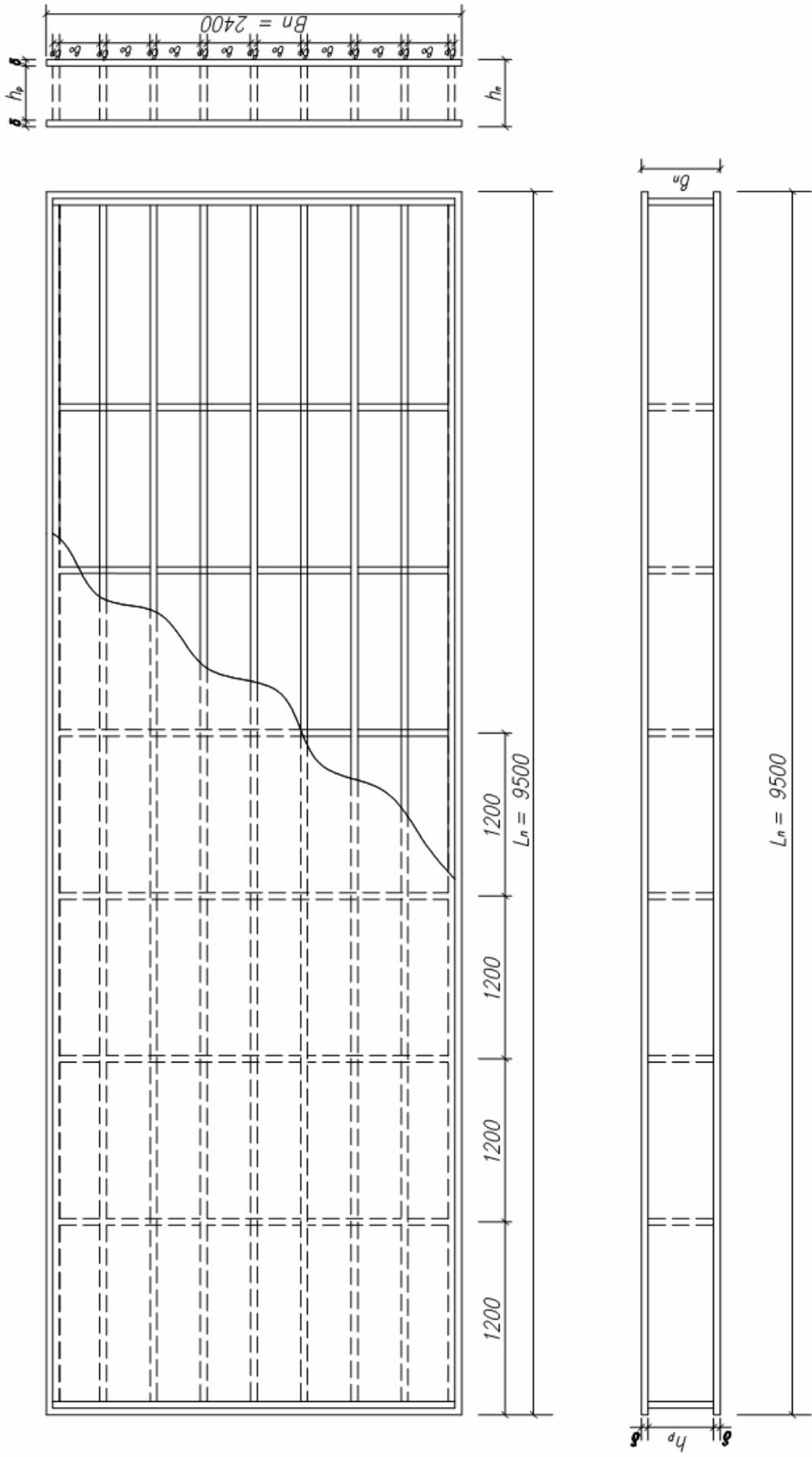


Рис. 4.1. Общий вид панели

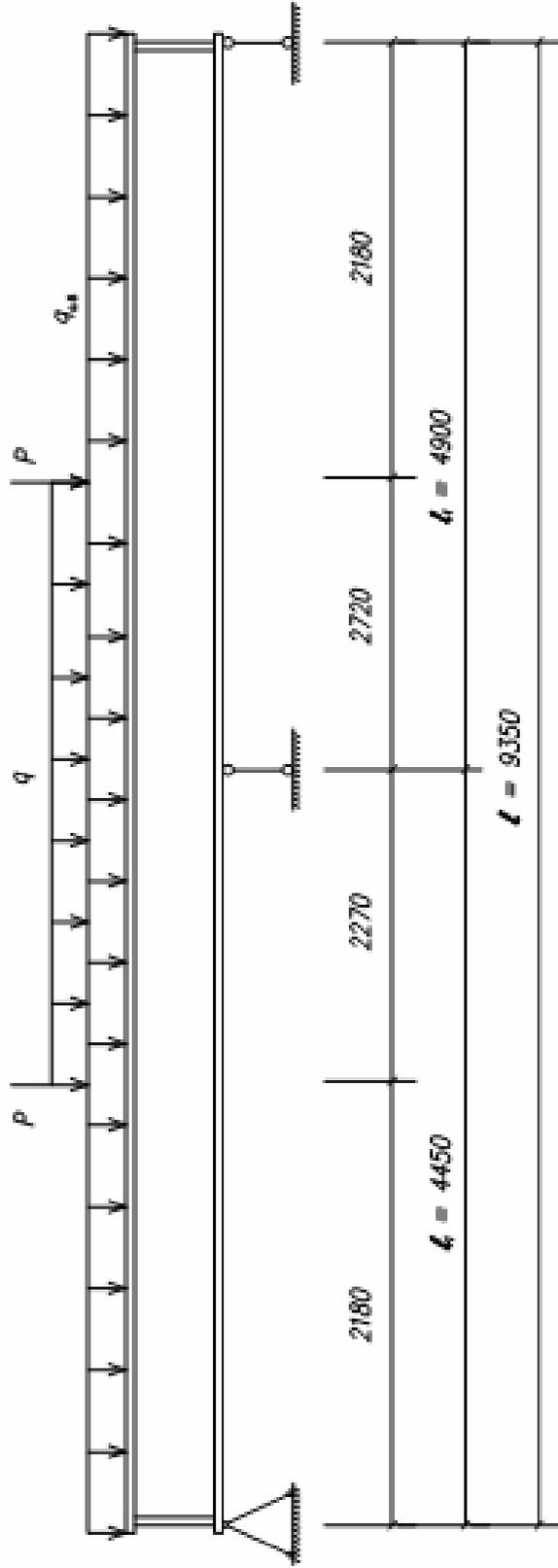


Рис. 4.2. Схема испытания панели

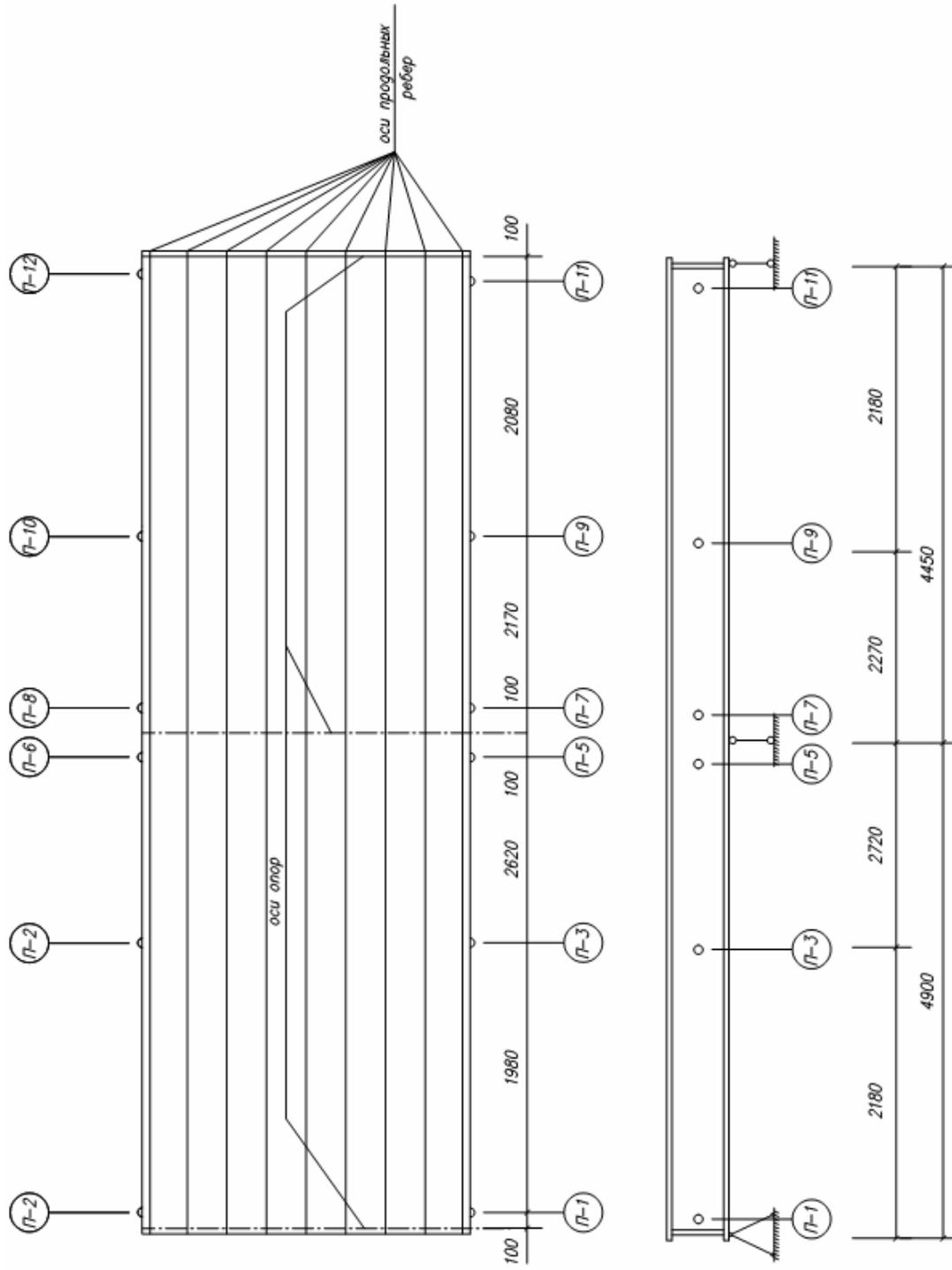


Рис. 4.3. Схема расположения приборов:
 П-1 ÷ П-12 – прогибомеры; Т-1 ÷ Т-2 – тензометры

Расчетные нагрузки на панель подсчитаны с учетом действия постоянных и временных нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации дома. Величины их приведены в табл. 4.1. Там же указаны максимальные расчетные изгибающие моменты и поперечная сила, возникающие в панели от расчетных нагрузок.

Т а б л и ц а 4 . 1

Значения расчетных нагрузок и усилий

Вид нагрузки	Нагрузка			Максимальные изгибающие моменты (кН·м)		Максимальная поперечная сила (кН)
	$q_{с.в.}$ (кН/п.м)	q (кН/п.м)	P (кН)	в	на	Q^{\max}
				пролете	опоре	
				$M_{пр}^{\max}$	$M_{оп}^{\max}$	
1	2	3	4	5	6	7
Расчетная	1,32	5,16	14,9 5	19,33	25,1	26,77
Контрольная	1,32	13,44	38,8 5	46,58	59,48	63,29

В табл. 4.1 приведены также значения контрольных нагрузок, которые определялись согласно рекомендациям, изложенным в [57]. Исходной предпосылкой при определении контрольных нагрузок являлось условие, что в наиболее напряженном сечении испытываемой по заданной схеме конструкции при приложении контрольных нагрузок должны возникать максимальные напряжения, равные удвоенному значению расчетного сопротивления.

Исходя из полученных значений контрольных нагрузок, приняты величины нагрузок каждого этапа, которые составляют не более 0,1 от контрольных нагрузок, т.е.

$$\Delta q = 0,1q_{\text{контр}} = 0,1 \cdot 13,44 \text{ кН/п.м} = 1,344 \text{ кН/п.м},$$

$$\Delta P = 0,1P_{\text{контр}} = 0,1 \cdot 38,85 \text{ кН} = 3,885 \text{ кН}.$$

В дальнейшем за величины каждого этапа нагружения приняты нагрузки $\Delta q = 1 \text{ кН/п.м}$ и $\Delta P = 3 \text{ кН}$.

4.2. Результаты испытаний панелей

Испытания панелей проводились до разрушения конструкции. За разрушающую принималась такая нагрузка, когда панель получала явные механические разрушения или когда прогибы ее увеличивались без дополнительного увеличения нагрузки. Величины разрушающих нагрузок, максимальных изгибающих моментов и поперечных сил, возникающих в момент разрушения в опасных сечениях панелей всех марок, приведены в табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4 . 2

Результаты испытаний панелей

Марка панелей	Разрушающие нагрузки			Изгибающие моменты при действии разрушающих нагрузок		Максимальная поперечная сила от действия разрушающих нагрузок Q_{max}
	$q_{с.в.}$ (кН/п.м)	q (кН/п.м)	Р (кН)	в пролете	на опоре	
				$M_{пр}^{разр}$ (кН·м)	$M_{оп}^{разр}$ (кН·м)	
1	2	3	4	5	6	7
ПРК-1	1,32	22,0	66,0	76,79	97,11	100,70
ПРК-2	1,32	21,0	63,0	73,40	92,86	98,07
ПРК-3	1,32	20,0	60,0	70,02	88,61	93,59
ПРК-4	1,32	20,0	60,0	70,02	88,61	93,59
ПРК-5	1,32	21,0	63,0	73,40	92,86	98,07

По окончании испытаний панелей из обшивок и ребер проводилась выборка малых образцов на предмет выявления фактических механических и упругих характеристик древесины и древесно-стружечной плиты. Испытание образцов древесно-стружечной плиты проводилось по методике, описанной в разд. 2, испытание образцов древесины – по методике, изложенной в [9, 10]. Результаты испытания образцов из древесно-стружечной плиты приведены в табл. 4.3, а образцов из древесины – в табл. 4.4.

Т а б л и ц а 4 . 3

Результаты испытания образцов из древесно-стружечной плиты

Характеристики	Марка панелей				
	ПРК-1	ПРК-2	ПРК-3	ПРК-4	ПРК-5
$\sigma_c^{кр}$	10,75	10,68	10,71	10,73	10,63
$\sigma_p^{кр}$	7,64	8,61	8,28	7,86	8,61
$\sigma_{и}^{кр}$	17,84	16,87	17,46	17,04	18,79
$E_c^{кр}$	3106,4	3116,2	3108,8	3112,6	3106,0
$E_p^{кр}$	3028,6	3022,7	3027,8	3024,6	3021,3
$E_{и}^{кр}$	3326,1	3328,6	3334,3	3336,4	3324,6
μ	0,196	0,233	0,206	0,198	0,217
G	756,6	749,8	754,7	746,8	742,1

Таблица 4.4

Результаты испытания образцов из древесины

Характеристики	Марка панелей				
	ПРК-1	ПРК-2	ПРК-3	ПРК-4	ПРК-5
$\sigma_{и}^{кр}$	34,71	33,16	30,72	31,19	32,72
$E_{и}^{кр}$	13511,6	13509,7	13492,3	13486,8	13499,6

После обработки результатов испытаний образцов, выбранных из элементов панели, получено, что средний предел прочности и модуль упругости древесины ребер составил: $\sigma_{и}^{кр} = 32,5$ МПа и $E_{и}^{кр} = 13500$ МПа, а для древесно-стружечной плиты $\sigma_{с}^{кр} = 10,7$ МПа, $\sigma_{р}^{кр} = 8,2$ МПа, $\sigma_{и}^{кр} = 17,6$ МПа, $E_{с}^{кр} = 3110$ МПа, $E_{р}^{кр} = 3025$ МПа, $E_{и}^{кр} = 3330$ МПа, $\mu = 0,21$, $G = 750$ МПа.

Разрушение панелей ПРК-1 и ПРК-2 произошло вследствие разрыва нижней обшивки и частичного разрушения продольных ребер. Разрыв обшивки наблюдался по всей ширине панели. Сразу же после разрыва нижней обшивки резко возрастали прогибы панели, наблюдался отрыв обшивок от ребер, после чего наступало общее разрушение панели.

Панели ПРК-2 и ПРК-3 разрушились вследствие отрыва обшивок от ребер и частичного скалывания ребер в местах приклейки обшивок. При этом ребра отрывались от обшивок сначала локально на отдельных участках, после чего имело место значительное нарастание прогибов панели, а затем наступало общее разрушение панели.

Разрушение панели ПРК-5 произошло вследствие разрушения продольных ребер и частичного отрыва и разрыва обшивки по ширине. При этом разрушение ребер и обшивок происходило в большем пролете под сосредоточенной силой. Разрушение начиналось с разрушения ребер, после чего наблюдался частичный отрыв обшивок.

Несмотря на сравнительно большую жесткость панелей и хрупкость клеевых швов, разрушение всех панелей все же носило пластический характер. Потрескивание панелей, связанное с локальным разрушением клеевых швов, наблюдалось примерно на 5–10 этапах погружения, т.е. при нагрузке, равной $(1 \div 2)P_{расч}$, и в дальнейшем продолжалось вплоть до разрушения.

При действии на панель разрушающих нагрузок были подсчитаны величины нормальных и касательных напряжений в обшивках и ребрах панелей. При определении напряжений использовались механические характеристики материалов, полученные при испытании малых образцов, взятых из испытанных панелей. Осредненные величины этих напряжений приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Значение напряжений, возникающих в панели
при действии разрушающих нагрузок

Марка панели	Максимальные нормальные напряжения, МПа			Максимальные касательные напряжения при разрушении панели, МПа
	в сжатой обшивке	в растянутой обшивке	в ребре	
1	2	3	4	5
ПРК-1	9,33	9,13	33,37	1,71
ПРК-2	8,92	8,73	31,91	1,66
ПРК-3	8,52	8,33	30,45	1,59
ПРК-4	8,52	8,33	30,45	1,59
ПРК-5	8,92	8,73	31,91	1,66

Из табл. 4.5 видно, что значения напряжений в панелях, полученные при разрушающей нагрузке, близки к средним пределам прочности, полученным при испытании образцов из древесно-стружечной плиты и древесины, вырезанных из панели. Так, нормальные напряжения в растянутой обшивке несколько превышают среднее значение прочности древесно-стружечной плиты при растяжении, поэтому почти во всех испытанных панелях наблюдался разрыв этой обшивки. Максимальные напряжения в ребре в момент разрушения панелей также близки к среднему значению предела прочности древесины, поэтому в некоторых панелях разрушение происходило вследствие излома ребер. Максимальные значения касательных напряжений, возникающих в панели в момент разрушения, составляют также довольно значительные величины.

На рис. 4.4–4.8 показаны графики изменения деформации в обшивке по ширине панели при некоторых этапах нагружения. Нетрудно заметить, что деформации распределяются сравнительно равномерно по ширине панели. Однако во всех панелях можно проследить некоторую закономерность, которая проявляется в том, что над ребрами деформации имеют некоторый всплеск, а на участке между ребрами деформации уменьшаются.

На рис. 4.9–4.13 показаны графики изменения деформации по высоте ребра панели. Распределение деформации по высоте сечения имеет характер близкий к характеру распределения деформаций для изгибаемых элементов. Нейтральная линия у всех панелей находится примерно в середине высоты панели, хотя имеются небольшие смещения ее как в сторону растянутой, так и в сторону сжатой обшивки.

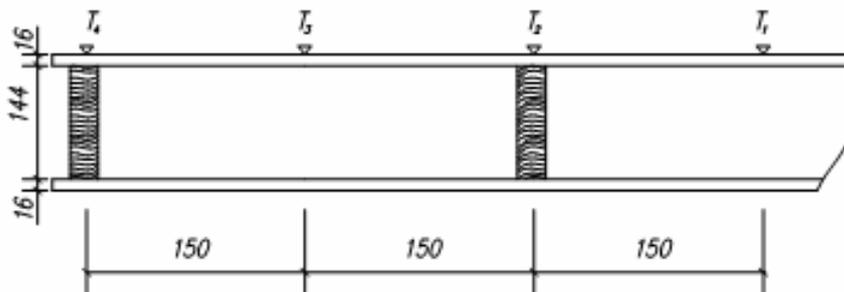
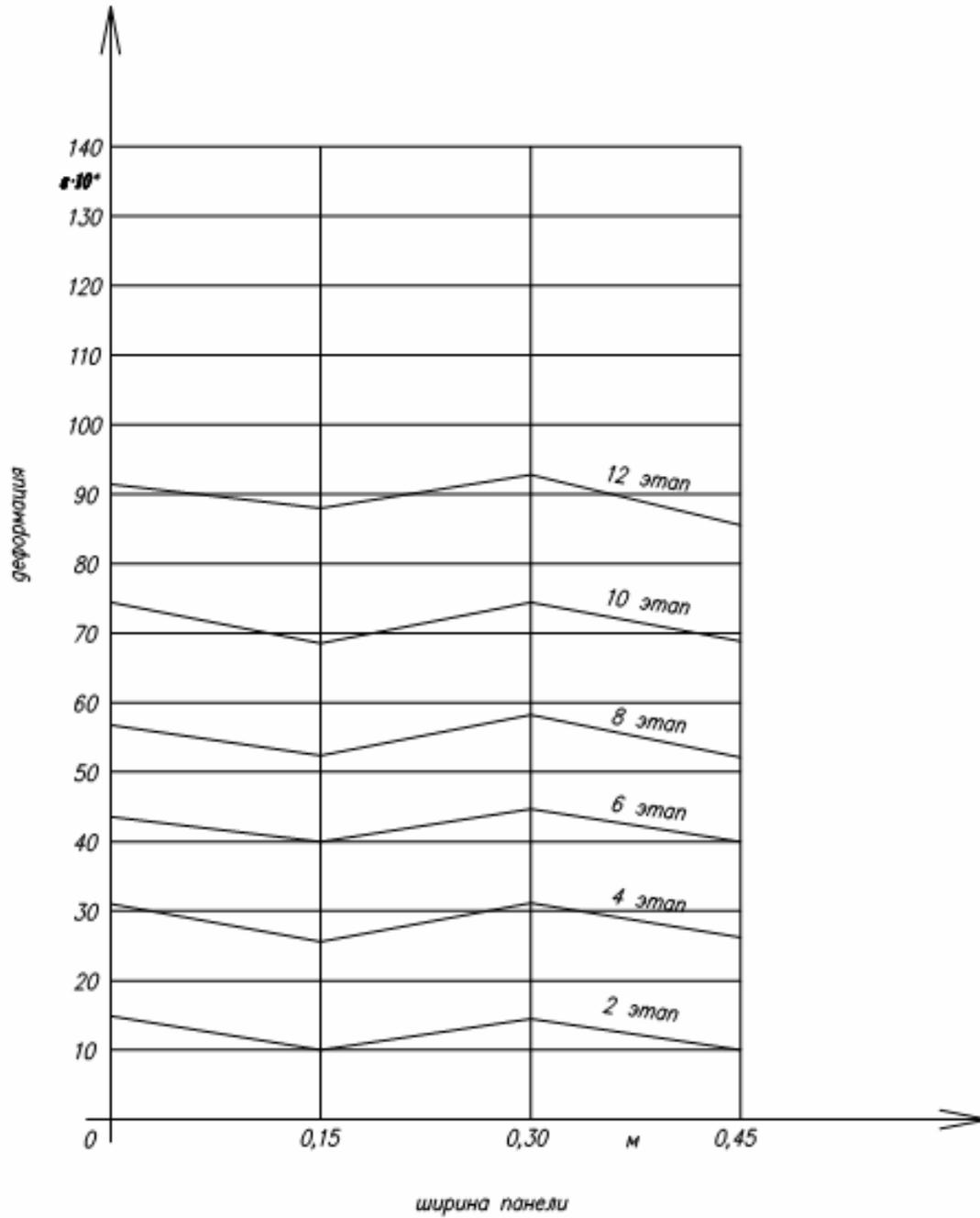


Рис. 4.4. График нарастания деформаций в обшивке панели ПРК-1

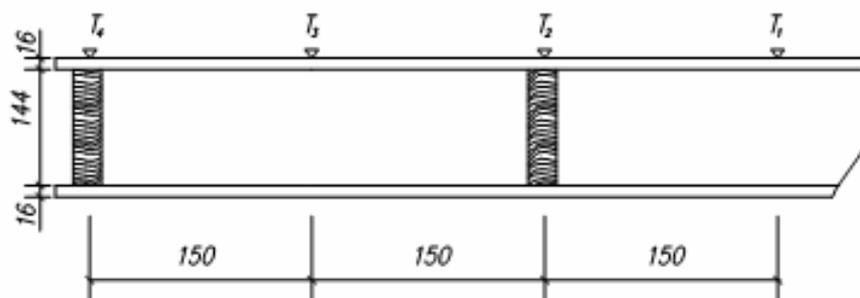
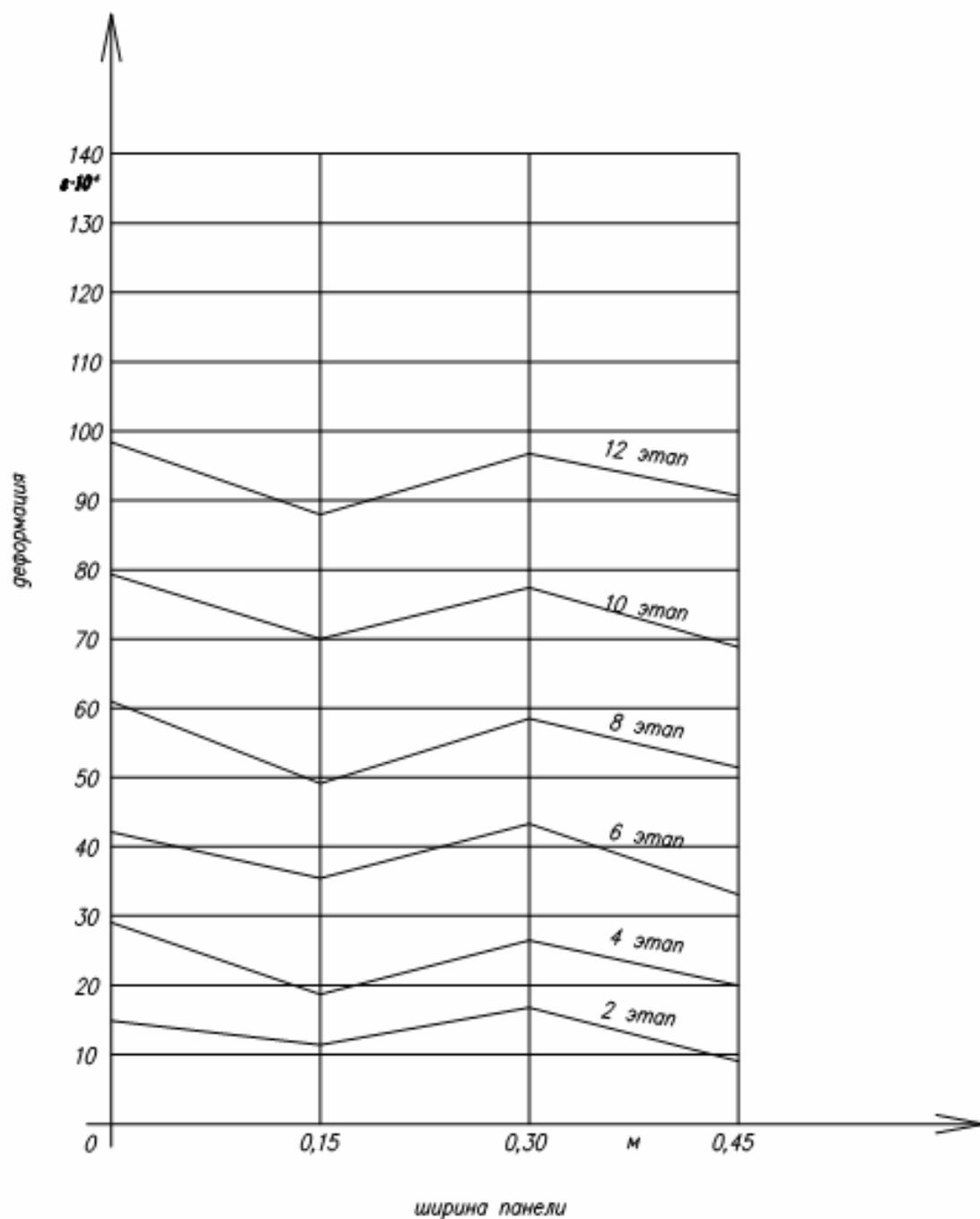


Рис. 4.5. График нарастания деформаций в обшивке панели ПРК-2

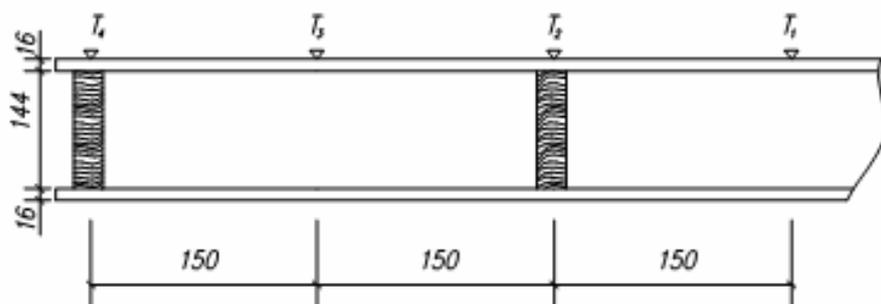
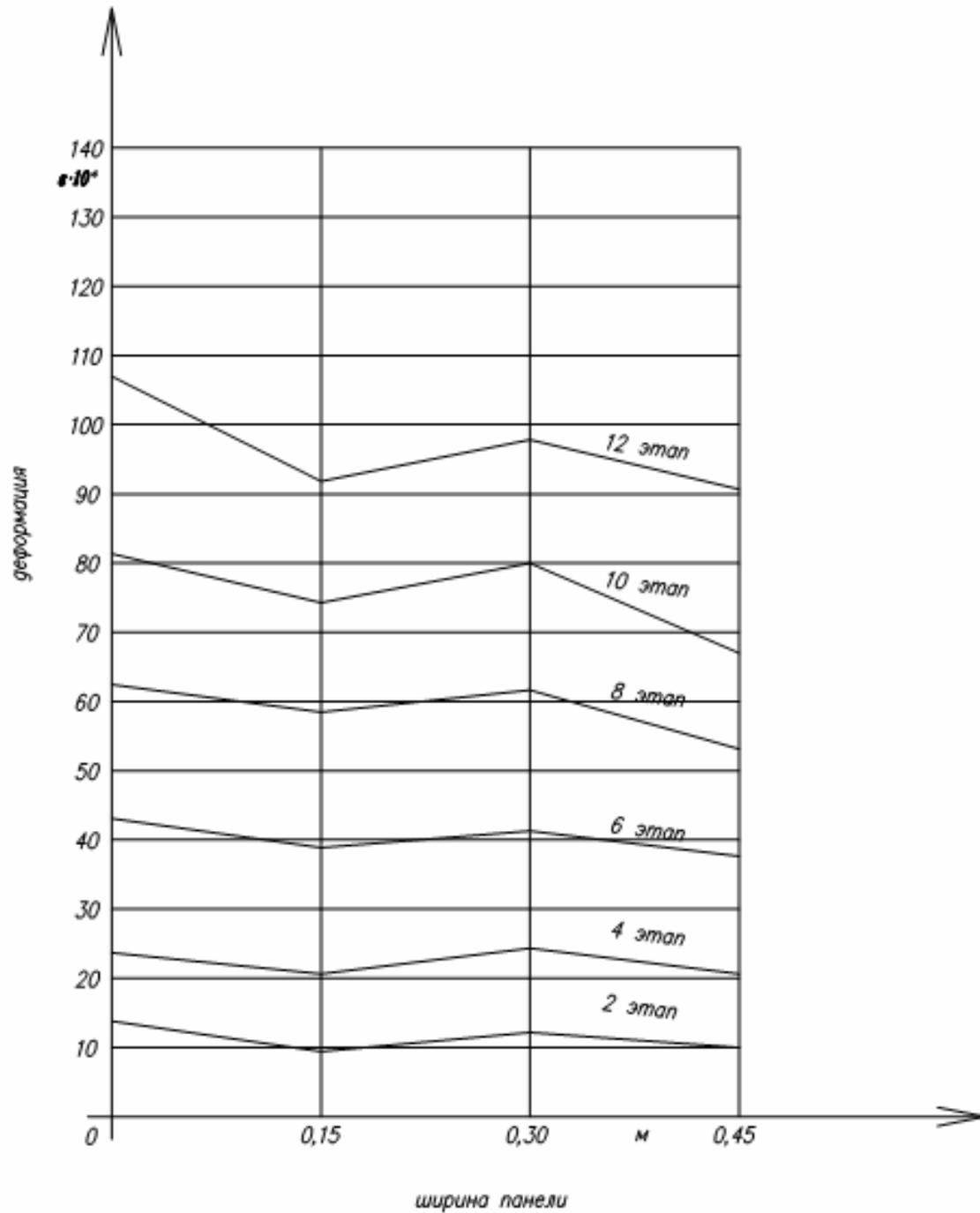


Рис. 4.6. График нарастания деформаций в обшивке панели ПРК-3

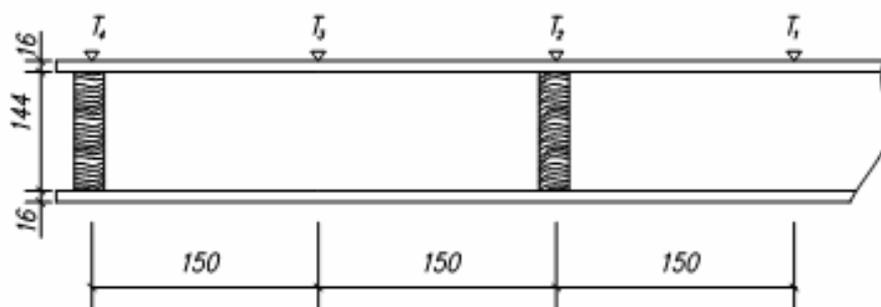
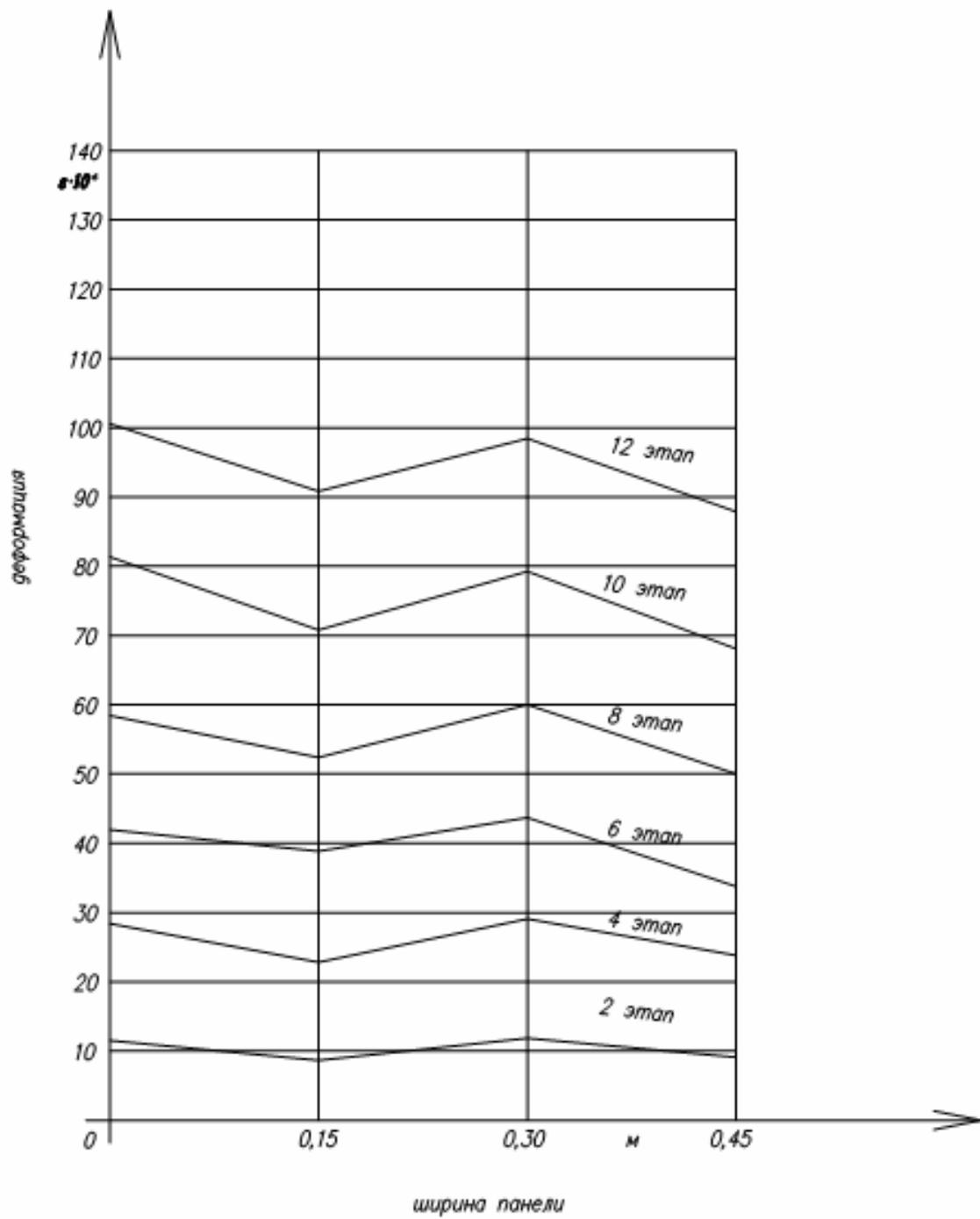


Рис. 4.7. График нарастания деформаций в обшивке панели ПРК-4

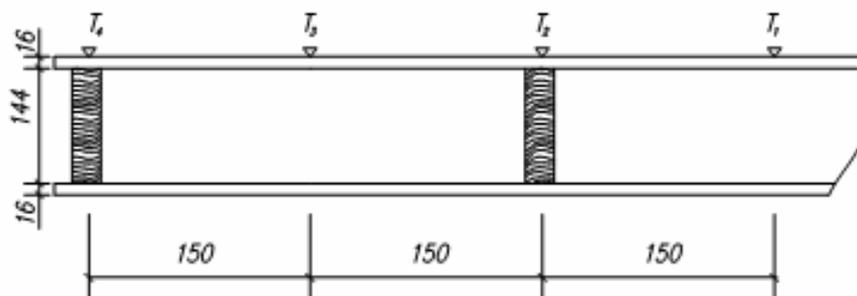
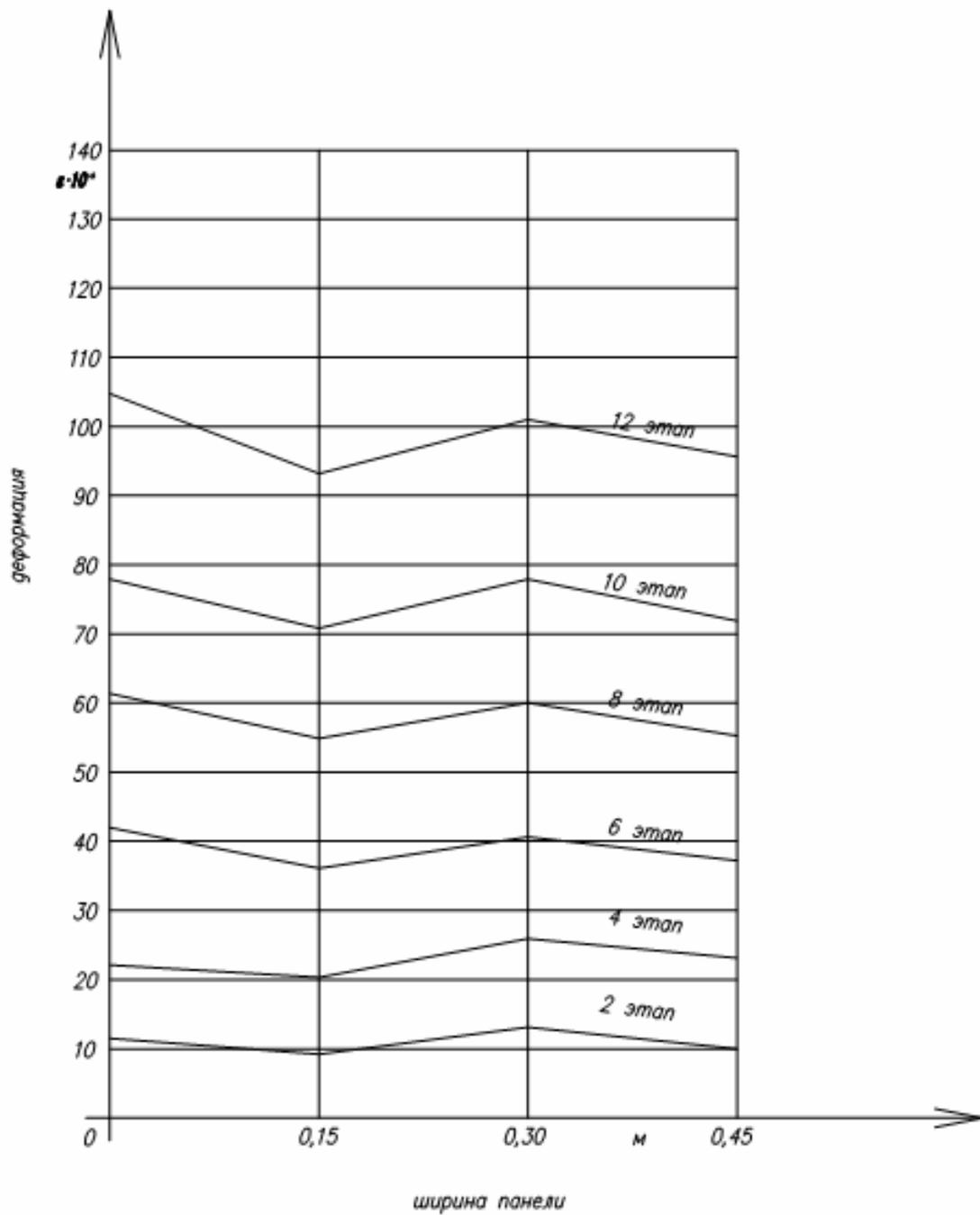


Рис. 4.8. График нарастания деформаций в обшивке панели ПРК-5

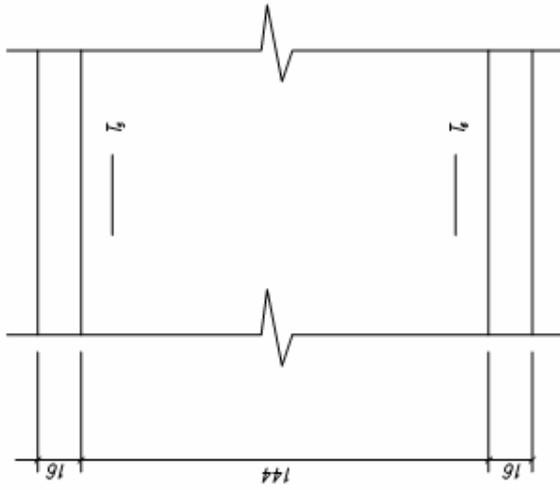
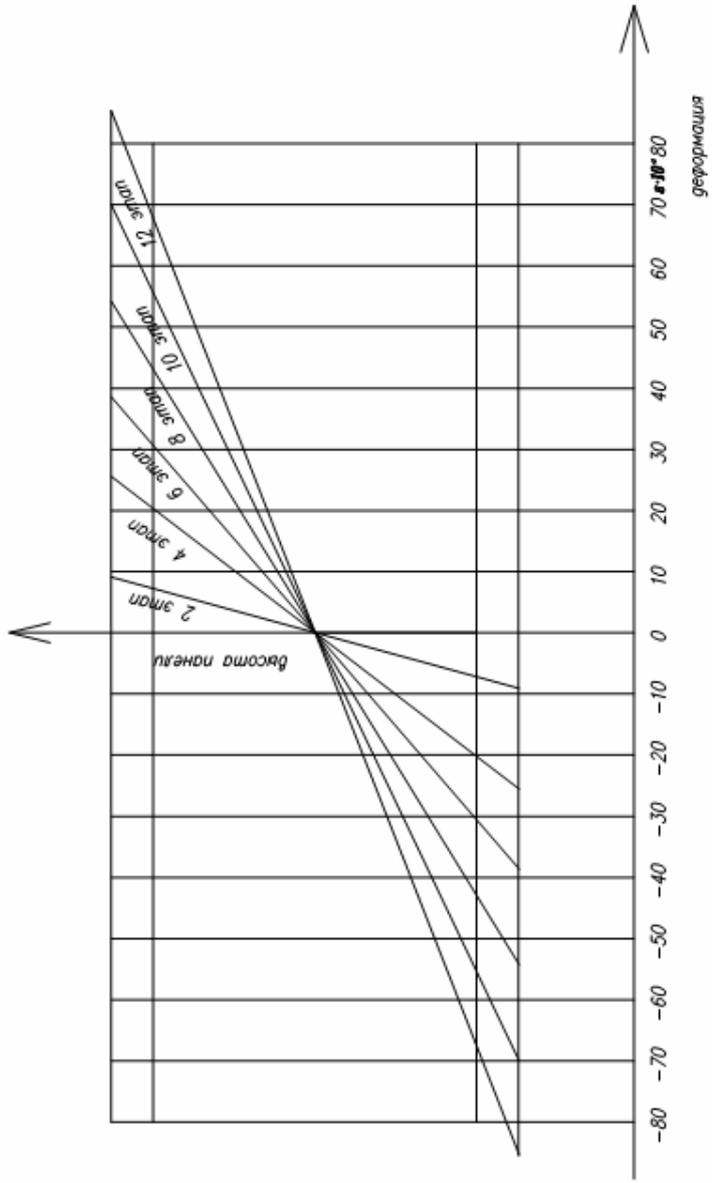


Рис. 4.9. График нарастания деформаций в ребре панели ПРК-1

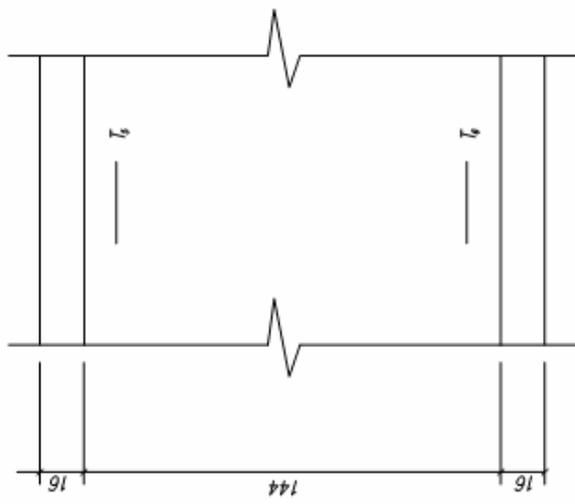
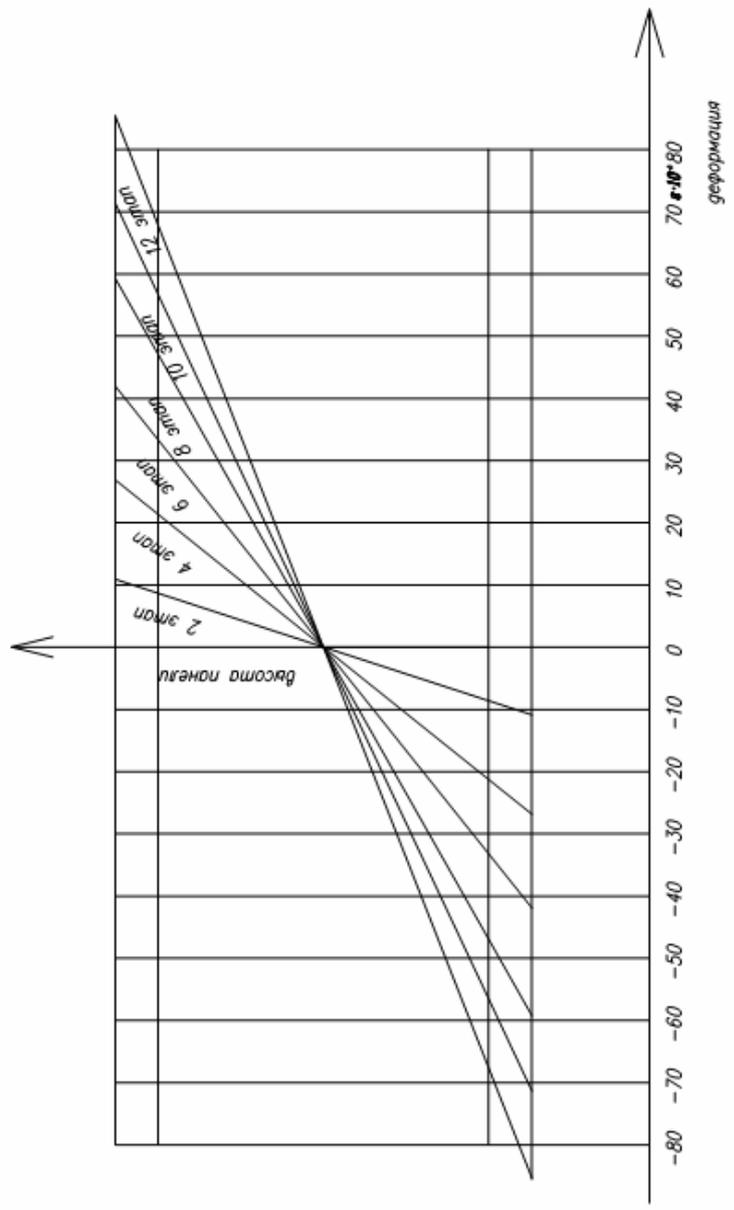


Рис. 4.10. График нарастания деформаций в ребре панели ПРК-2

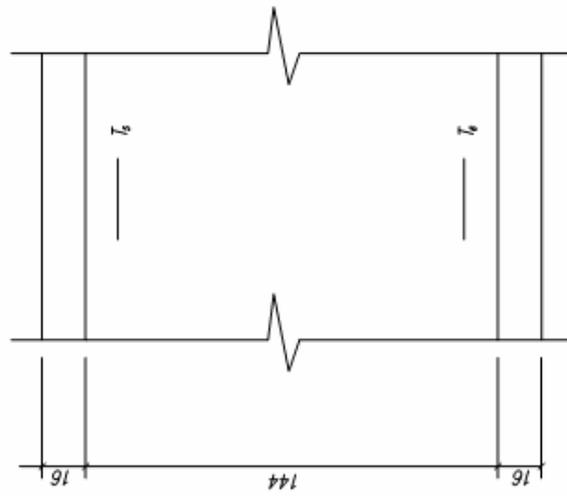
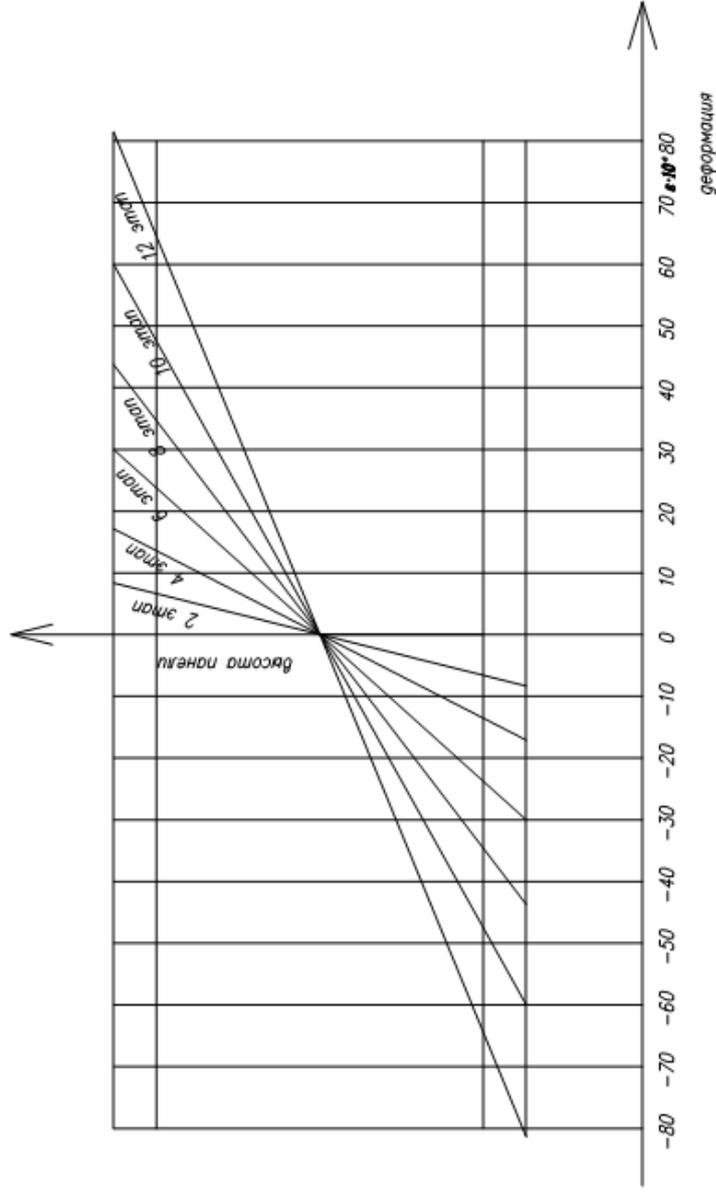


Рис. 4.1.1. График нарастания деформаций в ребре панели ПРК-3

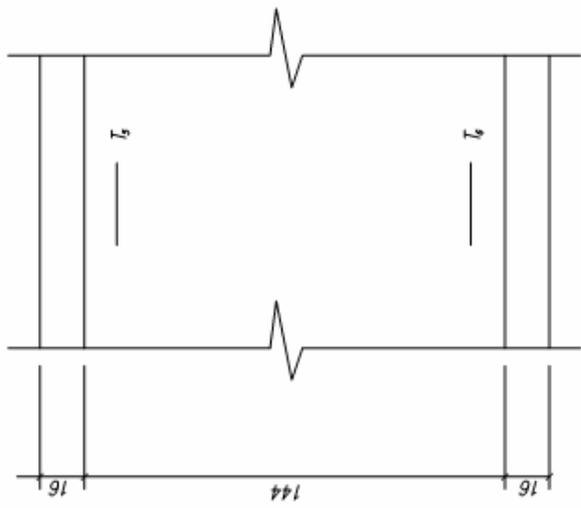
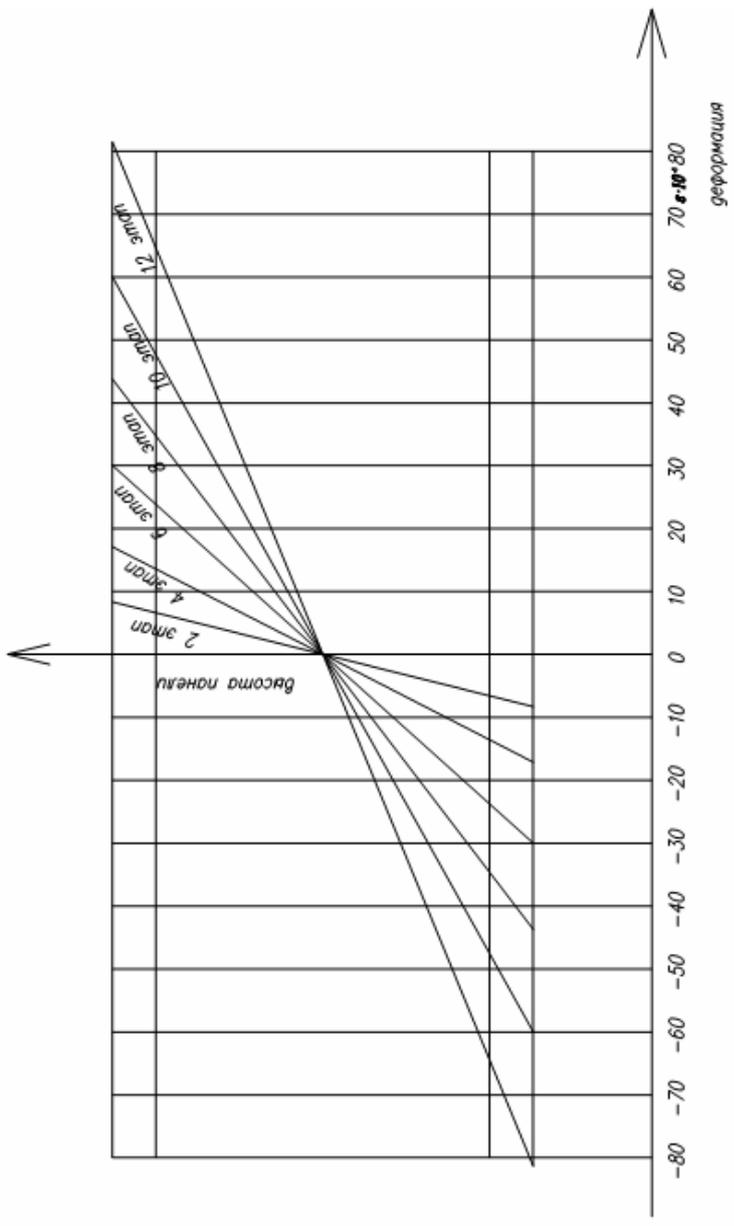


Рис. 4.12. График нарастания деформаций в ребре панели ПРК-4

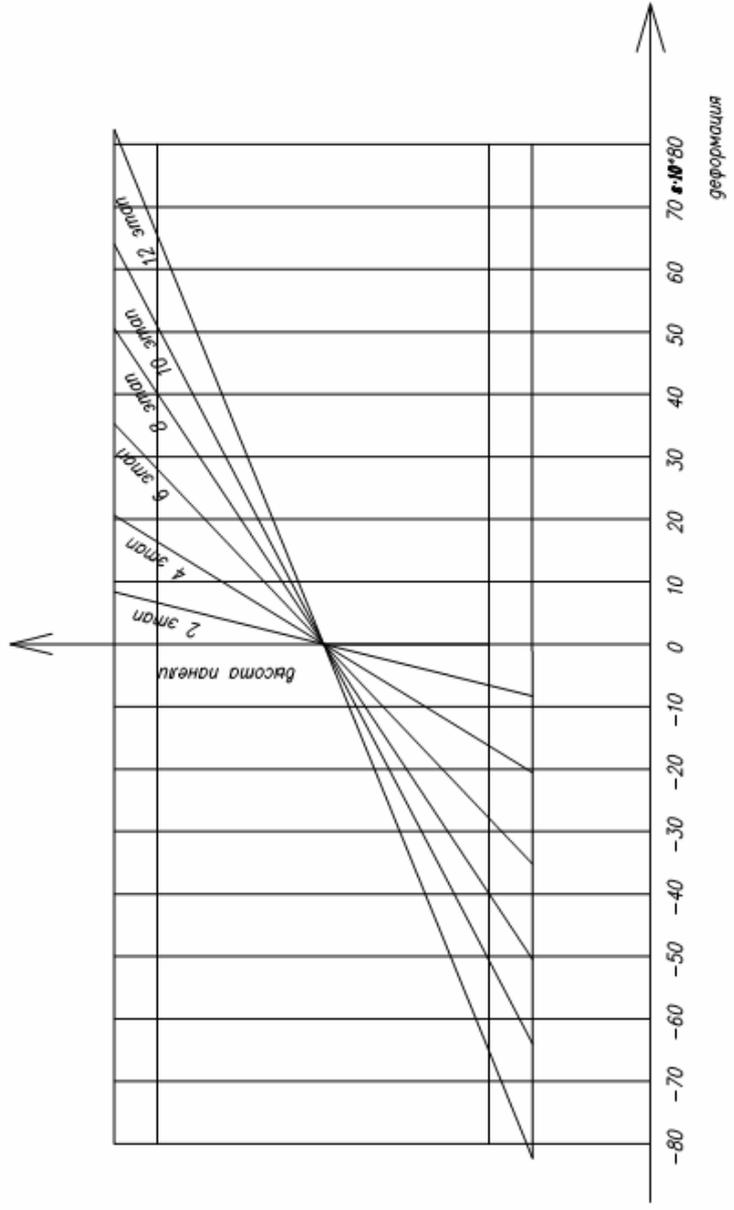
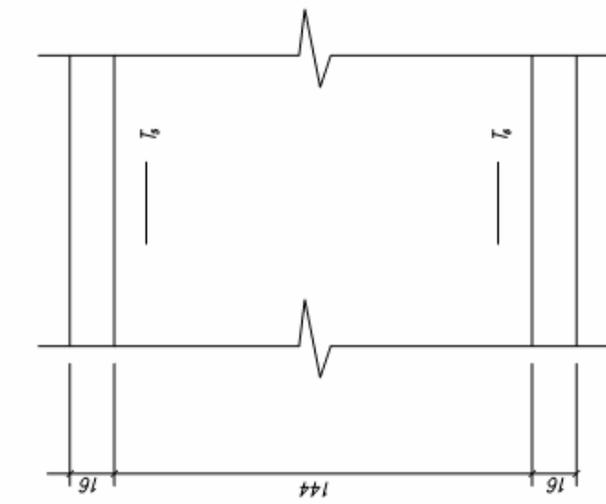


Рис. 4.13. График нарастания деформаций в ребре панели ПРК-5

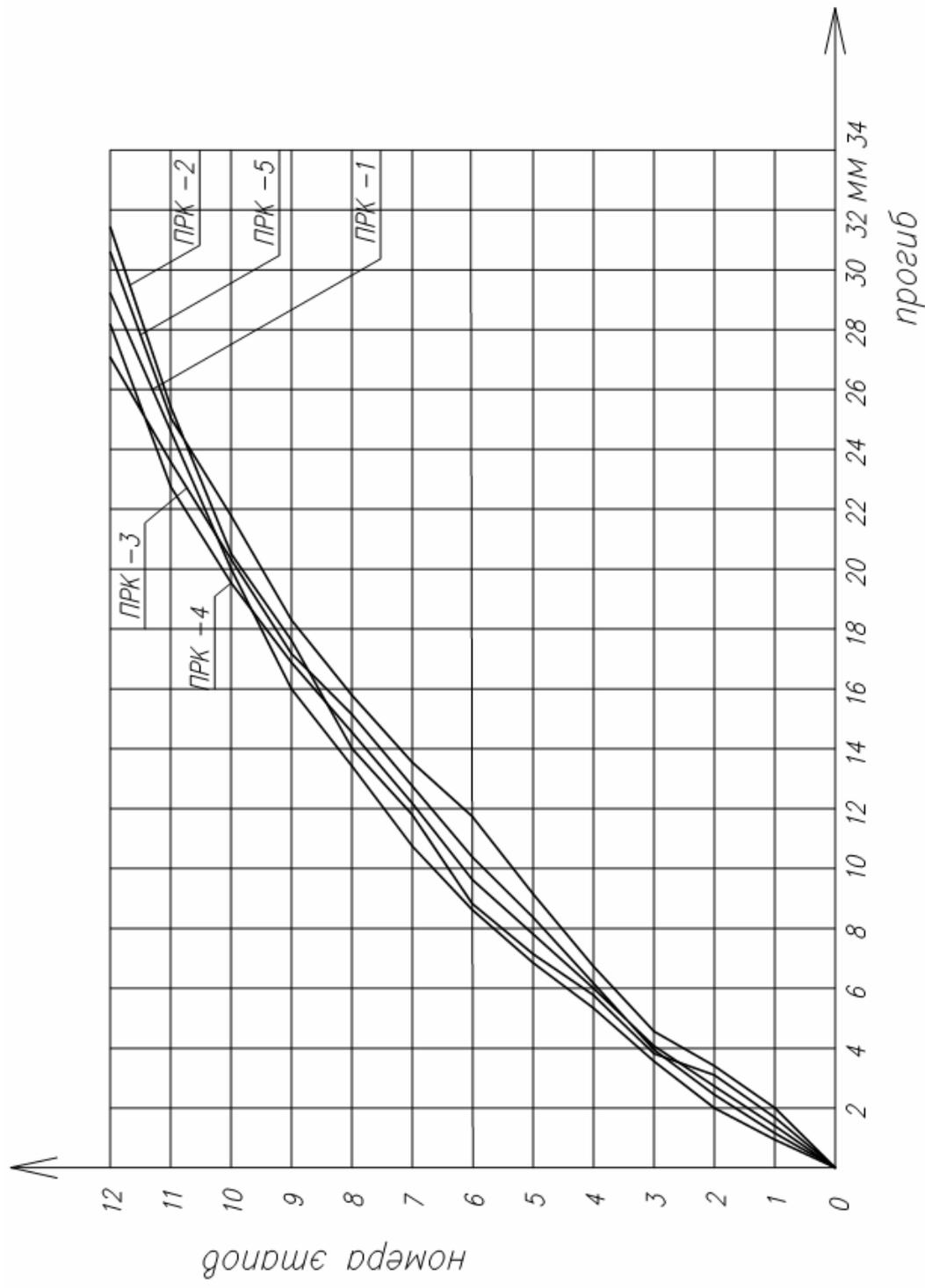


Рис. 4.14. Графики нарастания прогибов в панелях

На рис. 4.14 показаны графики нарастания прогибов панелей в процессе испытаний. Максимальная величина прогиба панелей при условной нормативной нагрузке (4 этап) составила соответственно 5,4 мм; 5,8 мм; 6,1 мм; 6,0 мм; 6,6 мм. Работа панелей носит упругопластический характер. Причем наибольший рост пластических деформаций наблюдается на конечных этапах нагружения, предшествующих разрушающей нагрузке.

Совместная работа обшивок и ребер, положенная в основу теоретических исследований, была подтверждена экспериментальными исследованиями. Их совместная работа наблюдалась в процессе испытания до момента разрушения. Учет совместной работы обшивок и ребер дает увеличение несущей способности и жесткости панелей. Так, если не учитывать работу обшивки, то предельный изгибающий момент, который может выдержать исследуемая панель, равняется 17,79 кН·м. При учете работы обшивки значение изгибающего момента возрастает до 27,63 кН·м, т.е. несущая способность увеличивается на 55 %. Соответственно жесткость панели при учете совместной работы обшивок и ребер повышается на 49 %. Данные значения соответствуют работе панелей при кратковременном действии нагрузки. При действии длительной нагрузки эти значения могут существенно измениться в меньшую сторону.

4.3. Сравнение результатов эксперимента и теоретических исследований. Оценка результатов испытания панелей

По результатам эксперимента были построены графики распределения нормальных напряжений в обшивке по ширине панели (рис. 4.15). Здесь же построен график изменения нормальных напряжений, подсчитанных по теоретическим формулам (3.28) в обшивке по ширине панели. Сравнение экспериментальных данных с теоретическими показало в целом достаточно хорошее совпадение результатов.

На рис. 4.16 приведены графики изменения нормальных напряжений в ребре по высоте, полученных экспериментальным путем, и здесь же показан график изменения напряжений по высоте ребра, подсчитанных по формулам (3.26). Как видно из рис. 4.16, экспериментальные значения нормальных напряжений в ребре близки к теоретическим.

Экспериментальным путем были определены прогибы панели в большем пролете при условной нормативной нагрузке. Значения их равны: для ПРК-1 – 5,4 мм; ПРК-2 – 5,8 мм; ПРК-3 – 6,1 мм; ПРК-4 – 6,0 мм; ПРК-5 – 6,6 мм. При такой же нагрузке по формулам (3.27) и (3.29) было определено теоретическое значение прогиба в большем пролете. Оно составило 5,98 мм. Сравнивая это значение с экспериментальными, можно констатировать достаточно хорошее совпадение результатов эксперимента с теоретическим значением. Расхождение в значениях прогибов составляет до 10 %.

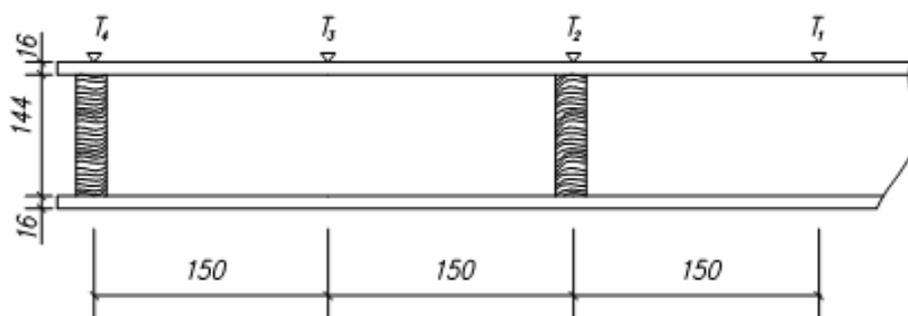
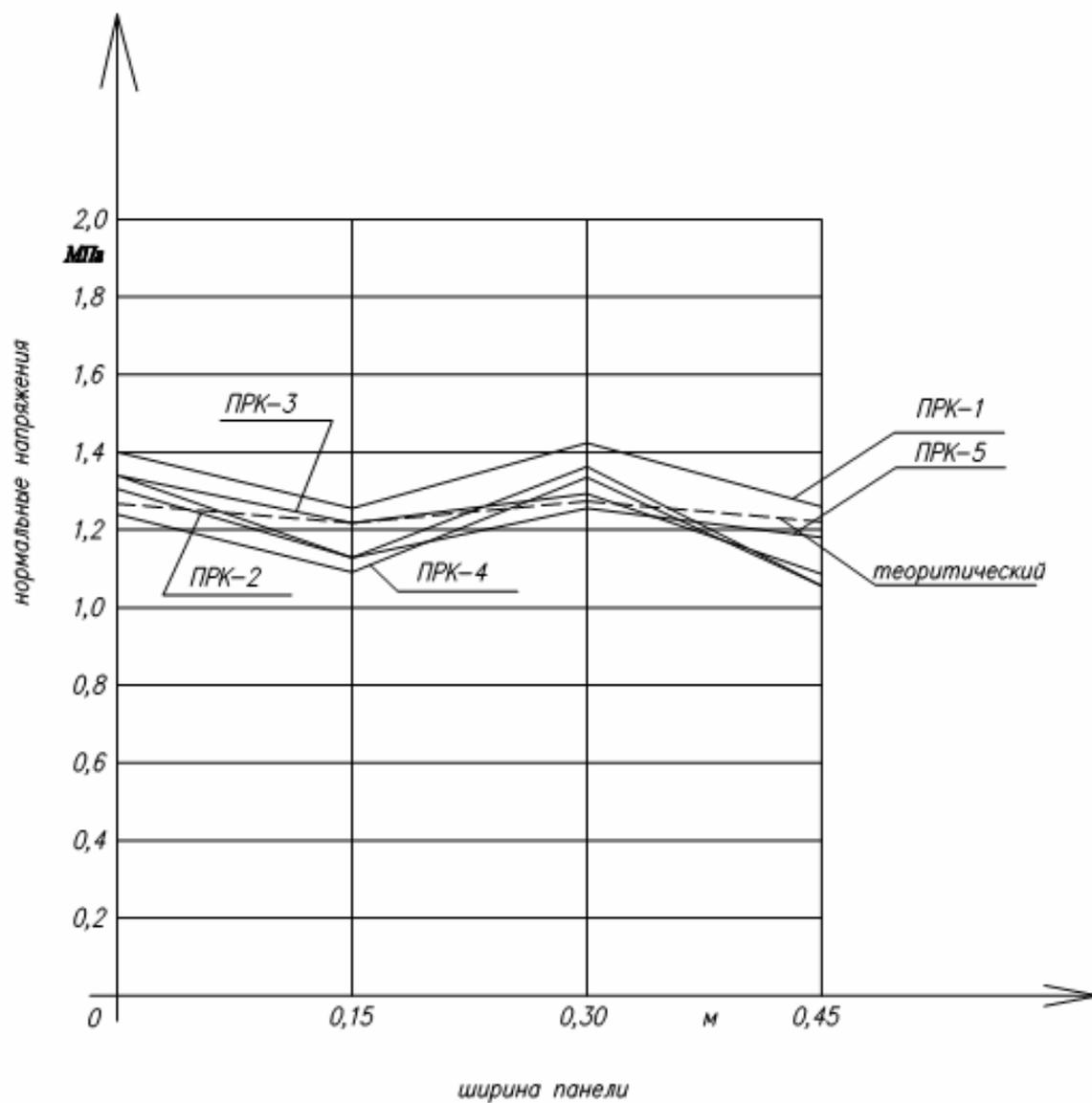


Рис. 4.15. Графики изменения нормальных напряжений в обшивке по ширине панели

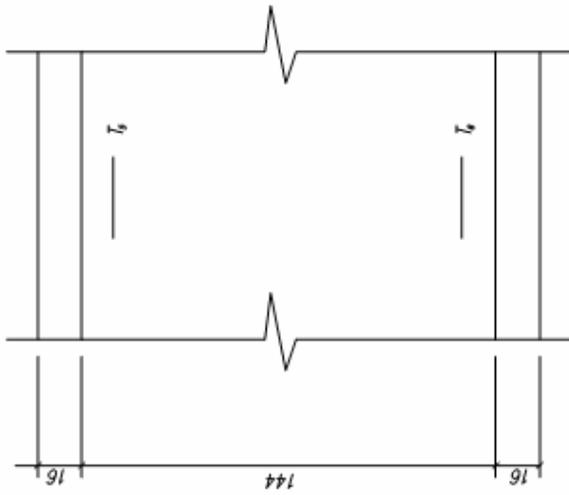
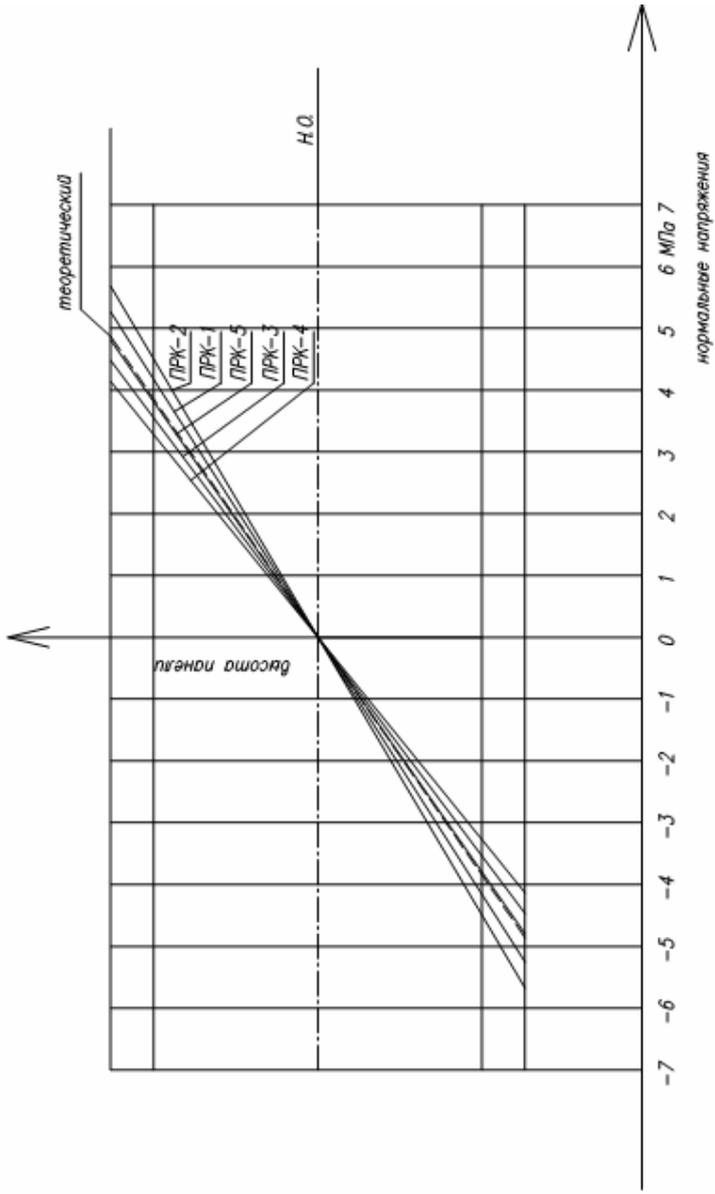


Рис. 4.16. Графики изменения нормальных напряжений в ребре по высоте панели

Для оценки качества и надежности испытываемых панелей были подсчитаны коэффициенты

$$K_1 = \frac{M_{\text{пр}}^{\text{разр}}}{M_{\text{пр}}^{\text{max}}}; \quad K_2 = \frac{M_{\text{оп}}^{\text{разр}}}{M_{\text{оп}}^{\text{max}}},$$

где $M_{\text{пр}}^{\text{разр}}$ – изгибающий момент в большем пролете от действия разрушающих нагрузок (см. табл. 4.2);

$M_{\text{пр}}^{\text{max}}$ – изгибающий момент в большем пролете от действия расчетных нагрузок (см. табл. 4.1);

$M_{\text{оп}}^{\text{разр}}$ – изгибающий момент в опорном сечении панели от действия разрушающих нагрузок (см. табл. 4.2);

$M_{\text{оп}}^{\text{max}}$ – изгибающий момент в опорном сечении панели от действия расчетных нагрузок (см. табл. 4.1).

Значения коэффициентов k_1 и k_2 приведены в табл. 4.6.

Т а б л и ц а 4.6

Значение коэффициентов

Марка панели	Коэффициенты		
	k_1	k_2	k_3
ПРК-1	3,97	3,87	1,63
ПРК-2	3,80	3,69	1,56
ПРК-3	3,62	3,53	1,49
ПРК-4	3,62	3,53	1,49
ПРК-5	3,80	3,69	1,56

По величине коэффициентов k_1 и k_2 (>2) [23, 51] можно констатировать, что несущая способность испытанных панелей в целом достаточна для восприятия нагрузок, действующих на них в полносборном доме.

Для оценки качества изготовления испытанных панелей был подсчитан коэффициент

$$K_3 = \frac{M_{\text{пр}}^{\text{разр}}}{M_{\text{контр}}},$$

где $M_{\text{контр}}$ – величина контрольного изгибающего момента, подсчитываемая из условия достижения напряжениями величины, равной $2R$ (значения приведены в табл. 4.1).

Величины коэффициента k_3 указаны в табл. 4.6. Согласно требованиям нормативных документов [51, 56, 57] изделие считается годным, если коэффициент k_3 будет больше единицы. В нашем случае для всех панелей это условие выполняется, что говорит о достаточном качестве изделий.

Максимальные прогибы панелей при условной нормативной нагрузке составили соответственно $f_1 = 5,4$ мм; $f_2 = 5,8$ мм; $f_3 = 6,1$ мм; $f_4 = 6,0$ мм;

$f_5 = 6,6$ мм. Для оценки жесткости панелей подсчитаны относительные их величины. Длительность действия нагрузки учитываем введением деформационного коэффициента $n_{дл} = 0,47$ [23].

Относительные величины максимальных прогибов равны:

$$\frac{f_1}{n_{дл}l_2} = \frac{5,4}{0,47 \cdot 4900} = \frac{1}{426}, \quad \frac{f_2}{n_{дл}l_2} = \frac{5,8}{0,47 \cdot 4900} = \frac{1}{397},$$

$$\frac{f_3}{n_{дл}l_2} = \frac{6,1}{0,47 \cdot 4900} = \frac{1}{377}, \quad \frac{f_4}{n_{дл}l_2} = \frac{6,0}{0,47 \cdot 4900} = \frac{1}{384},$$

$$\frac{f_5}{n_{дл}l_2} = \frac{6,6}{0,47 \cdot 4900} = \frac{1}{349}.$$

Согласно требованиям СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции. Нормы проектирования» и строительных правил СП-64.13330.2011, жесткость конструкций достаточна, если относительный прогиб ее не превышает величину, равную $1/250$. В нашем случае все панели отвечают этому требованию.

С целью подтверждения проведенной оценки результатов испытаний оценим несущую способность панелей по рекомендациям Ю.М. Иванова [51]. Для этого определим приведенное время t , соответствующее действию неизменной нагрузки, по формуле

$$t = 0,02 \cdot t'_1 + t_2,$$

где t'_1 – время доведения нагрузки до разрушающей величины (значения приведены в табл. 4.7);

t_2 – время, в течение которого конструкция выдерживала разрушающую нагрузку (значения указаны в табл. 4.7).

Т а б л и ц а 4 . 7

Оценка несущей способности панелей

Тип панели	Отношения		Время			Требуемый коэффициент надежности $k_{тр}$
	$k = \frac{q_{разр}}{q_{расч}}$	$k' = \frac{P_{разр}}{P_{расч}}$	t'_1	t_2	t	
ПРК-1	4,26	4,41	6015	25	145,3	2,06
ПРК-2	4,07	4,21	5715	30	144,3	2,06
ПРК-3	3,88	4,01	5415	40	148,3	2,06
ПРК-4	3,88	4,01	5415	35	143,3	2,06
ПРК-5	4,07	4,21	5715	35	149,3	2,06

Поскольку разрушение панелей носило пластический характер, то коэффициент надежности следует подсчитывать по формуле

$$k_{\text{тр}} = 1,25(1,88 - 0,106 \cdot \lg t).$$

Все вычисления сведем в табличную форму (см. табл. 4.7).

Как видно из табл. 4.7, все панели имеют коэффициенты надежности k и k' , большие, чем требуемый ($k_{\text{тр}}$). Значит, несущая способность испытанных панелей достаточна для восприятия нагрузок, действующих на них в полносборном доме, что подтверждает ранее проведенную оценку несущей способности панелей.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Дискретная структура ребристой панели, состоящей из листовых обшивок и регулярно расставленных по ширине ребер, как и следовало ожидать, приводит к неравномерному распределению нормальных напряжений в обшивках. Вблизи ребер имеет место некоторое увеличение нормальных напряжений с последующим убыванием их по мере удаления от ребра. Экспериментально для испытанных панелей получены графики распределения нормальных напряжений по ширине обшивок, которые согласуются с теоретическими результатами, представленными в разд. 3. Экспериментально установлено также соответствие распределения нормальных напряжений по длине и высоте ребер панели теоретическому закону их распределения при принятой схеме нагружения.

Испытания панелей подтвердили упругопластический характер работы их под нагрузкой. Зависимость «прогибы – нагрузка» имеет криволинейный характер с самого начала загрузки панелей. Однако на графиках можно выделить две стадии работы панелей, когда нарастание прогибов идет практически близко к линейной зависимости (упругая работа) и когда нарастание прогибов на этапе нагружения идет с заметным увеличением по отношению к прогибам предшествующего этапа. Граница между этими стадиями, или условие упругой работы панелей, составляет примерно 0,6 от величины разрушающей нагрузки. В пределах упругой работы панелей экспериментальные величины прогибов практически мало отличаются от прогибов, подсчитанных по теоретическим формулам. Расхождение составляет не более 10 %.

Испытания панелей показали, что за счет монолитного клеевого соединения обшивки и ребра работают совместно вплоть до разрушения панелей. При этом в момент разрушения величины напряжений в обшивках (древесно-стружечная плита) и ребрах (древесина) достигают величин, близких к их прочностным характеристикам, что говорит о том, что и ребра, и обшивки участвуют в восприятии действующих на панели нагрузок. Благодаря этому, наблюдается увеличение несущей способности и жесткости панели, чем нельзя пренебречь при проектировании комбинированных клееных панелей из древесины и древесно-стружечной плиты.

5. ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ПОЛНОСБОРНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ

Проведенные исследования дают основание для дальнейшего совершенствования существующих конструктивных решений панелей перекрытий с целью более рационального использования конструкционных материалов, из которых изготавливается панель.

В основу исследований по разработке оптимальных конструктивных решений положена ранее исследованная панель перекрытия полносборного деревянного дома, выполненная в виде ребристой системы, состоящей из продольных несущих деревянных ребер и обшивок, изготовленных из древесно-стружечной плиты. Для полного представления о рациональности конструкции и материалов, из которых выполнена панель, исследования проводились для различных проектных решений домов, в том числе таких, выпуск которых еще не освоен домостроительными комбинатами, но возможные решения которых могут иметь место в строительной практике.

5.1. Концепция оптимизации конструктивных решений панелей

Работа по оптимизации панелей выполнялась с учетом технологического фактора изготовления конструкций, поскольку технология, как правило, не только определяет рациональность конструкции и ее стоимость, но и влияет на качество и количество продукции, выпускаемой комбинатами. Проведенные исследования базировались на учете поточной технологии изготовления ребристых панелей, основанной на автоматизации всех процессов и непрерывности технологического потока.

Одним из факторов рациональности ребристой панельной конструкции является способ соединения между собой ее элементов (обшивок и ребер).

Целесообразность клеевого соединения по сравнению с традиционными гвоздевыми соединениями должна подкрепляться соответствующими обоснованиями, поскольку, наряду с повышением стоимостных показателей по расходу клея, существенным может оказаться повышение в целом несущей способности и жесткости панелей или уменьшение расхода материалов на них. Кроме того, применение клеевых соединений может привести к улучшению технологичности и снижению трудозатрат при изготовлении панелей особенно тогда, когда склеивание осуществляется скоростным методом в поле токов высокой частоты.

Другими аргументирующими факторами рациональности и оптимальности конструкций являются их конструктивные решения и материалы, из

которых выполняется каждый элемент панели. Поиск рациональных материалов является одним из важных этапов разработки оптимальных конструкций. Поэтому дальнейшие исследования по оптимизации проводились по двум направлениям:

- поиск оптимальных конструкций несущих ребер панелей;
- оценка прочностных требований к древесно-стружечной плите, используемой в качестве обшивки панели, и отыскание оптимальных значений ее механических характеристик применительно к клееным панелям малоэтажных жилых домов.

5.2. Поиск рациональных конструкций несущих ребер панели

При разработке рациональной конструкции ребер учитывались такие факторы, как надежность (прочность, жесткость и долговечность), технологичность (возможность поточного изготовления ребер и самой панели), дефицитность материалов (способная снизить производительность комбината). Критерием оптимальности служило снижение материалоемкости и стоимости конструкций.

В качестве основного варианта в настоящих исследованиях принята клееная панель, в которой и обшивки, и ребра работают совместно, вплоть до самого разрушения.

Было разработано и исследовано несколько конструктивных вариантов несущих ребер панели, которые достаточно хорошо вписываются в непрерывную поточную технологию изготовления клееных панелей. Все они могут быть изготовлены в условиях домостроительных комбинатов без устройства каких-либо новых технологических линий. На рис. 5.1 показаны варианты поперечных сечений несущих ребер, а в табл. 5.1 даны их размеры.

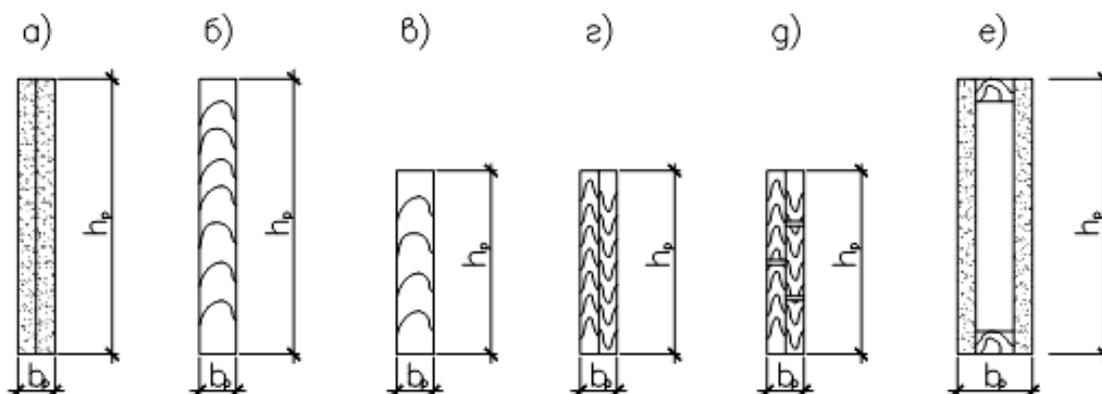


Рис. 5.1. Поперечные сечения несущих ребер:
 а – клеенные из слоев древесно-стружечной плиты; б, в – из цельной доски;
 г – клеенное из двух слоев тонких досок; д – клеенное из низкосортных досок;
 е – коробчатое, клеенное из брусков и древесно-стружечной плиты

Т а б л и ц а 5 . 1

Геометрические параметры ребер и панелей

Серия панелей	Тип поперечного сечения ребер по рис 5.1	Размеры ребер		Размеры панелей		Толщина обшивки в панелях δ , (мм)
		b_p (мм)	h_p (мм)	ширина b_n (мм)	высота h_n (мм)	
1	2	3	4	5	6	7
№1	а	2×16	198	2400	230	16
№2	б	44	198	2400	230	16
№3	в	44	144	2400	176	16
№4	г	2×22	144	2400	176	16
№5	д	2×22	144	1200	176	16
№6	е	54	198	2400	230	16

5.3. Испытание панелей с различными конструкциями несущих ребер

За исходное конструктивное решение принято ребро сечением 32×198, выполненное из двух слоев древесно-стружечной плиты, склеенных по пласти (рис. 5.1а). Эти размеры сечения взяты из проекта на дом серии 101-1-3 (по шведскому образцу дома). С такими ребрами были изготовлены панели серии № 1 в количестве трех штук. Все экспериментальные панели подверглись натурным испытаниям до разрушения с целью выявления фактической жесткости, несущей способности и характера разрушения. Испытания проводились по методике, описанной в разд. 4, т.е. испытанию подвергались панели размером в плане 2400×9500 м по схеме двухпролетной балки. Схема испытания принималась согласно изображенной на рис. 4.2. Порядок нагружения и все другие условия испытания принимались аналогично описанным в разделе 4. Результаты испытаний представлены на рис. 5.2, 5.8 и в табл. 5.2 (в табл. 5.2 и на рис. 5.8 приведены осредненные данные по испытаниям всех панелей данной серии). Как показали исследования, разрушения панелей такого типа происходило от разрыва растянутой обшивки, поскольку древесно-стружечная плита при растяжении имеет наименьшую прочность. Не могло не сказаться также наличие стыков древесно-стружечных плит как в обшивках, так и в ребрах, которые приводили к преждевременному разрушению панелей. Разрушающая нагрузка для таких панелей составила примерно 65 % от расчетной, что, естественно, не дает оснований к положительной оценке их прочности, необходимой для безопасной эксплуатации зданий.

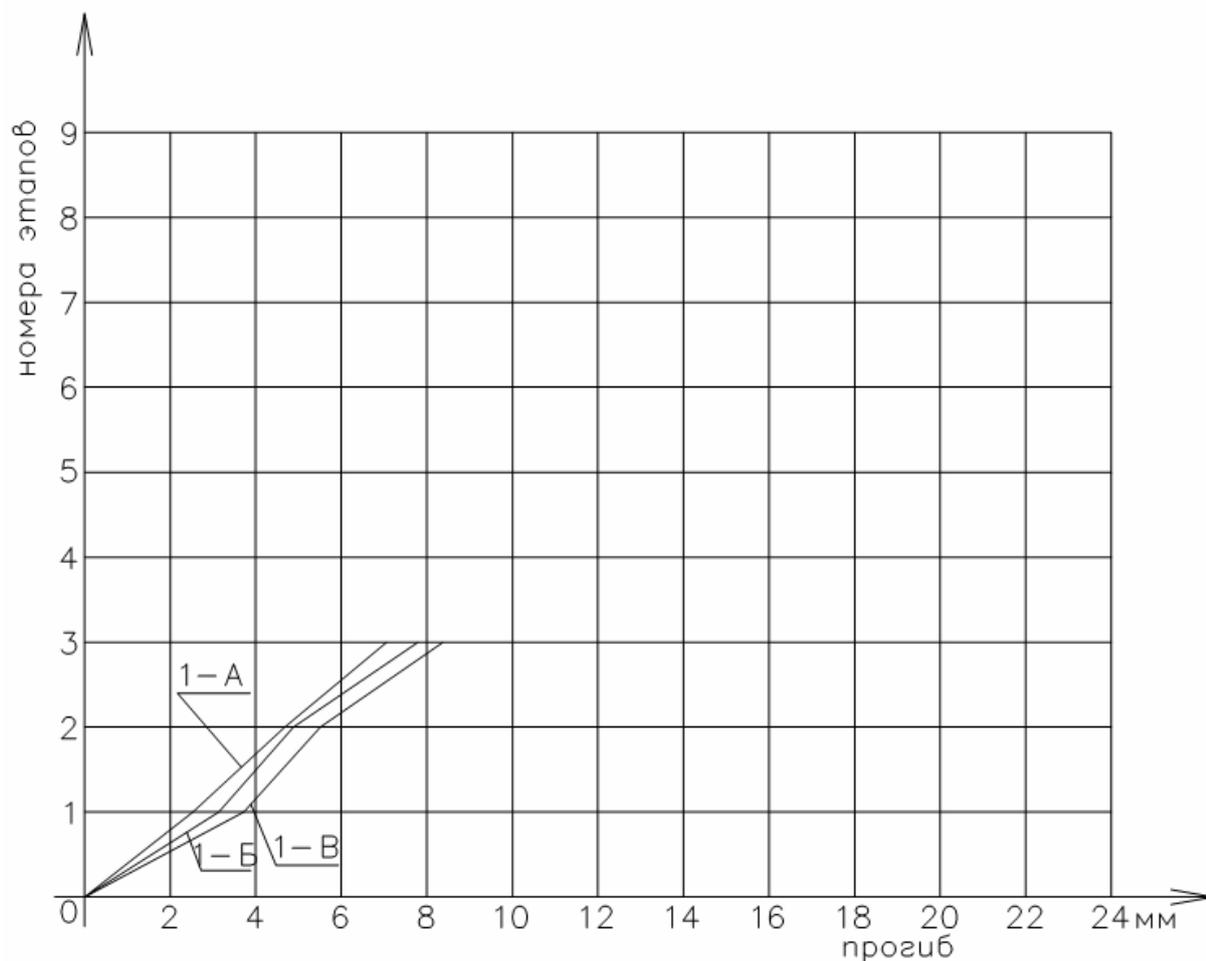


Рис. 5.2. Графики нарастания прогибов в панелях серии № 1 (панели 1-А, 1-Б, 1-В)

Таблица 5.2
Результаты натуральных испытаний панелей

Серия панелей	Максимальный изгибающий расчетный момент, кН·м	Максимальный изгибающий момент при действии разрушающей нагрузки, кН·м	Максимальный прогиб при нормативной нагрузке, мм	Коэффициент надежности k	Отношение f/l
1	2	3	4	5	6
№ 1	25,04	16,33	7,81	0,65	1/630
№ 2	25,04	97,86	4,05	3,91	1/1210
№ 3	25,04	51,63	5,57	2,06	1/880
№ 4	25,04	64,12	7,80	2,50	1/630
№ 5	12,52	35,76	6,45	2,86	1/760
№ 6	25,04	96,62	4,20	3,86	1/1170

Для обеспечения надежной работы панелей и сохранения технологии их изготовления вначале было предложено заменить ребра на деревянные из цельной доски согласно сортаменту пиломатериалов с сохранением размеров высоты сечения, принятой в шведском варианте (см. рис. 5.1б). Была изготовлена серия № 2 из трех панелей с таким сечением несущих ребер, и проведены их испытания в полной аналогии с предыдущими. Результаты испытаний приведены на рис. 5.3, 5.8 и в табл. 5.2 (в табл. 5.2 и на рис. 5.8 указаны осредненные данные по серии). Панели такого типа обладали повышенным запасом прочности и жесткости (см. рис. 5.3, 5.8 и табл. 5.2), однако они имели большой расход пиломатериалов, причем дефицитного сечения (высотой более 200 мм).

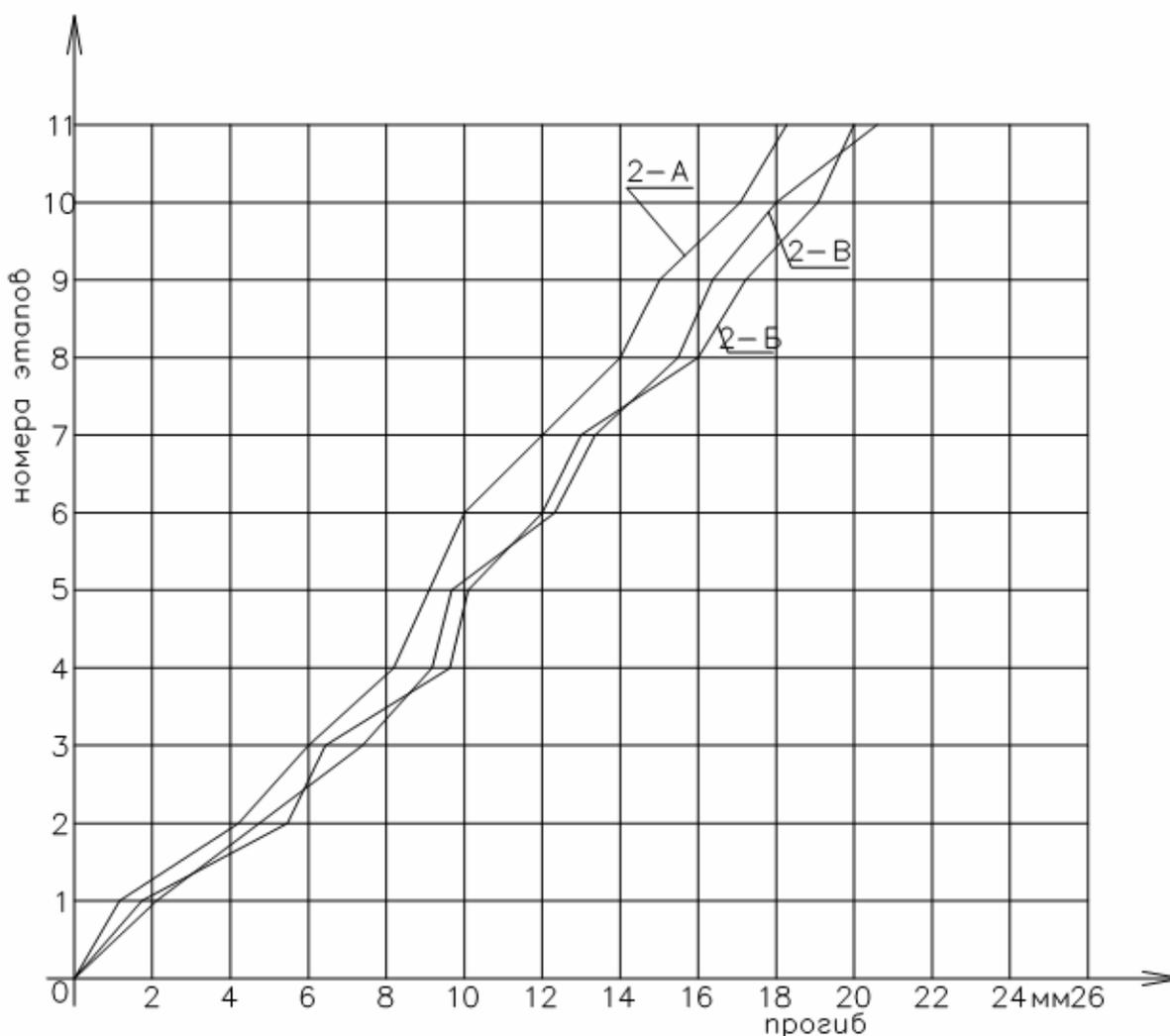


Рис. 5.3. Графики нарастания прогибов в панелях серии № 2 (панели 2-А, 2-В, 2-В)

В целях экономии пиломатериалов после тщательного исследования действительной работы панели было предложено уменьшить сечение ребра, приняв его размеры 44×144 мм (см. рис. 5.1в, г). Такое сечение могло быть получено из одной доски (серия № 3) размером 50×150 мм или склеено (серия №4) (при отсутствии цельных досок) из двух тонких досок сечением 25×150 мм. Испытания этих серий панелей проводились аналогично предыдущим испытаниям. Результаты испытаний приведены на рис. 5.4, 5.5, 5.8 и в табл. 5.2 (в табл. 5.2 и на рис. 5.8 даны осредненные данные по трем панелям серии). Испытания таких панелей показали их достаточную несущую способность и жесткость. Ребра из цельной доски отличаются простотой изготовления, хотя требуют устройства стыков по длине панели, выполняемых, как правило, с двумя парными накладками на клею. На изготовление клееных ребер требуются повышенные затраты и расход клея, однако данные затраты компенсируются пониженным расходом древесины ввиду отсутствия стыковых накладок в ребрах и несколько большим коэффициентом надежности, повышение которого связано с рассредоточением дефектов как по длине досок, так и по сечению ребра. Последнее обстоятельство позволило перейти к ребру, показанному на рис. 5.1д. Размеры сечения ребра приняты 44×144 мм, но это ребро выполнялось из пиломатериалов пониженной сортности (3 и 4 сорт) и дефицитных сечений (толщиной не более 25 мм и шириной не более 125 мм). Предлагаемая конструкция ребра, выполненного из низкосортной древесины, хорошо вписывается в технологические линии изготовления клееных панелей, поскольку ребра определенного сечения могут быть получены путем распиловки соответствующей заготовки, склеенной из двух слоев досок. Было сделано три панели, в которых ребра изготавливались описанным выше способом. Эти панели были объединены в серию № 5, и проведены испытания аналогично предыдущим. Результаты испытаний указаны в табл. 5.2 и на рис. 5.6, 5.8 (в табл.5.2 и на рис.5.8 данные осреднены по серии). Более подробное описание вопросов применения ребер, склеенных из досок низких сортов, в панелях полносборных домов и полученных при этом результатов испытаний и технико-экономических показателей дается в монографии [7].

Как видно из табл. 5.2 и рис. 5.6 и 5.8, испытания выявили достаточную прочность и жесткость панелей с такими ребрами. Несущая способность и жесткость панелей здесь достигнута за счет снижения отрицательной роли пороков древесины, лежащих в основе классификации ее по сортам и влияющих на ее работу, путем рассредоточения пороков по длине, ширине и толщине ребра при их изготовлении.

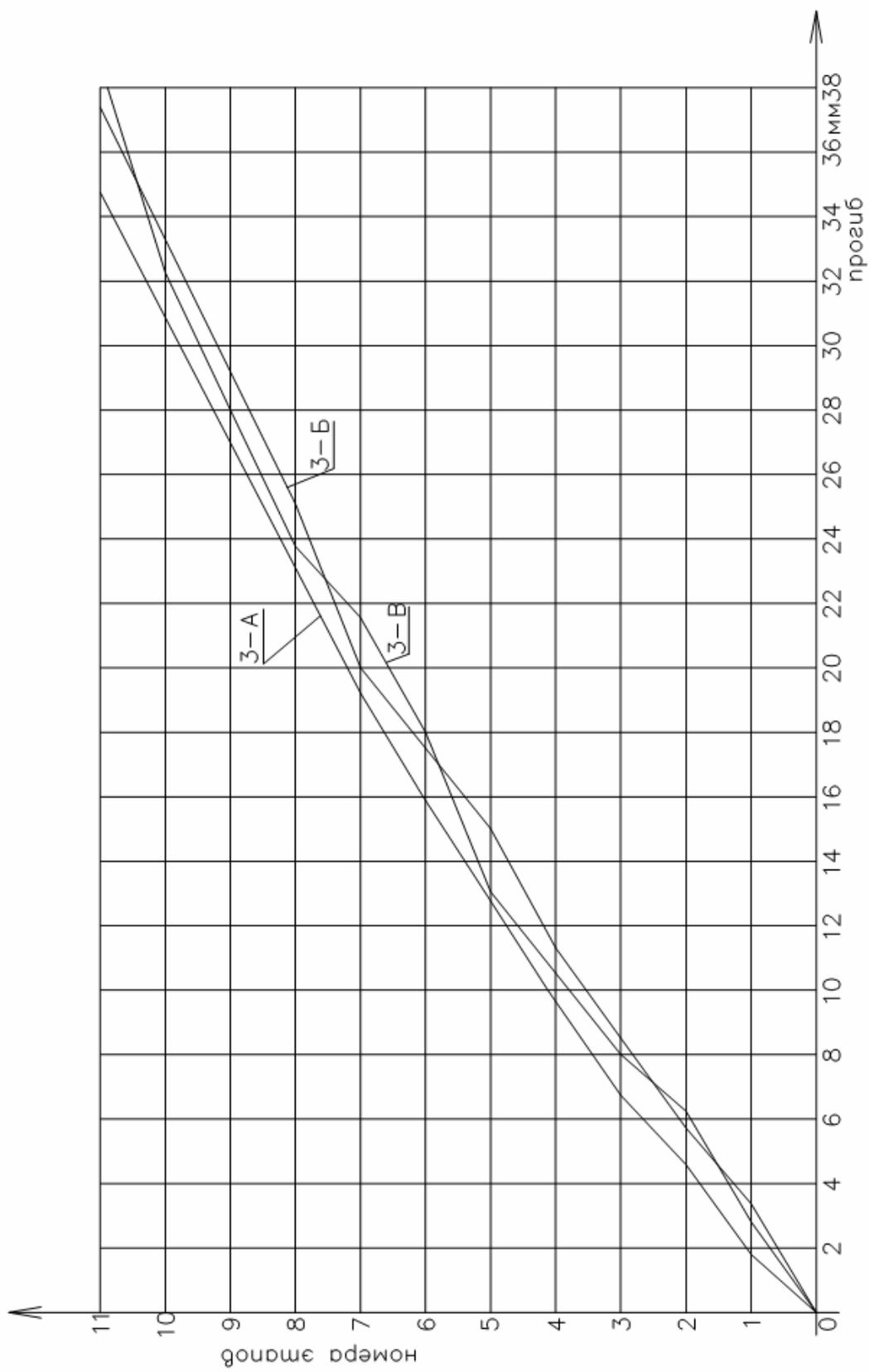


Рис. 5.4. Графики нарастания прогибов в панелях серии № 3 (3-А, 3-Б, 3-В)

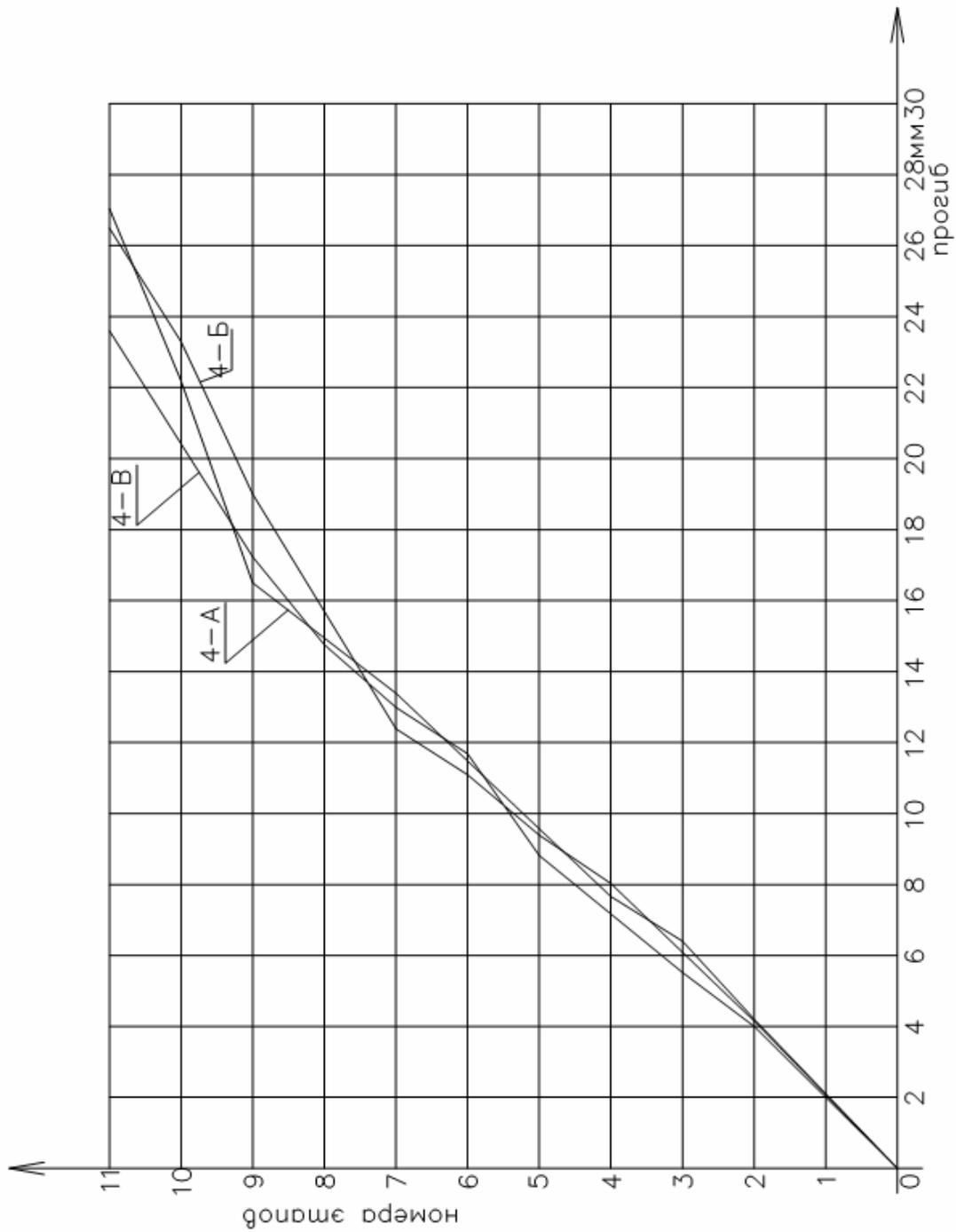


Рис. 5.5. Графики нарастания прогибов в панелях серии № 4 (панели 4-А, 4-Б, 4-В)

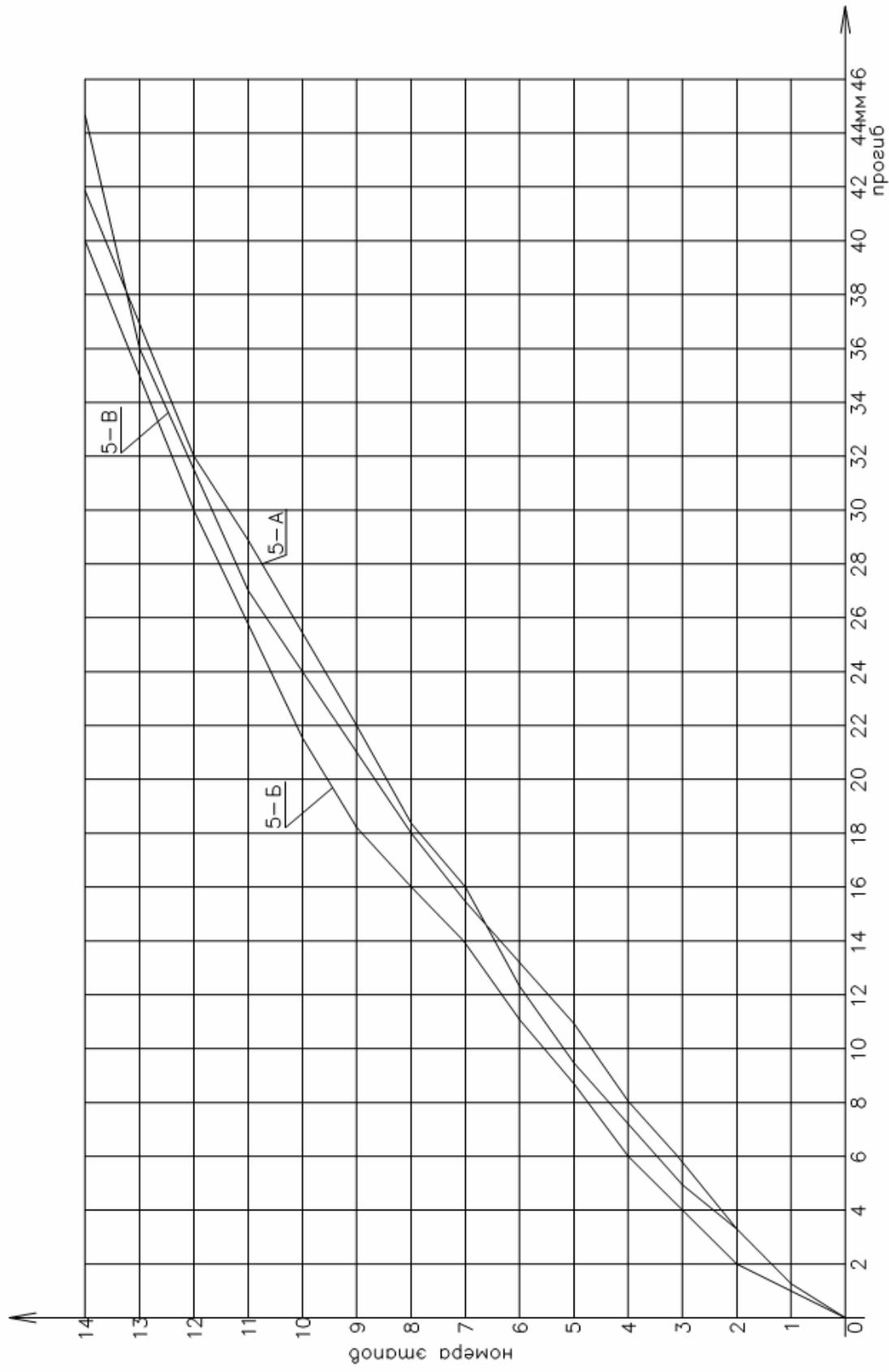


Рис. 5.6. Графики нарастания прогибов в панелях серии № 5 (панели 5-А, 5-Б, 5-В)

Рассмотренные конструкции несущих ребер, за исключением серии №1, в целом отвечающие всем основным требованиям (прочность, жесткость, технологичность и т.п.), все же наделены одним недостатком – требуют повышенного расхода пиломатериалов. В целях сокращения расхода пиломатериалов была предложена комбинированная конструкция несущих ребер коробчатого сечения, в котором пояса выполнены из деревянных брусков, а стенки – из древесно-стружечной плиты (см. рис. 5.1е). Коробчатое сечение хорошо вписывается в технологию изготовления клееных ребристых панелей на существующих поточных линиях комбинатов по производству полносборных домов. В основу получения коробчатых ребер положено предварительное изготовление клееной заготовки (по аналогии с изготовлением ребристой панели) с последующей распиловкой ее на отдельные элементы в соответствии с размерами коробчатых ребер. Применение ребер двутаврового сечения с одиночной стенкой дает некоторую экономию в расходе древесно-стружечной плиты, но менее технологично в изготовлении, что снижает эффективность их использования.

Для экспериментальной проверки работы ребер предложенной конструкции были изготовлены панели (серия № 6), в которых ребра были коробчатыми. Испытания проводились по аналогии с предыдущими испытаниями. Результаты испытаний приведены в табл. 5.2 и на рис. 5.7 и 5.8 (в табл. 5.2 и на рис. 5.8 даны осредненные данные по всей серии из трех панелей). Как видно из табл. 5.2 и рис. 5.7 и 5.8, панели с комбинированными ребрами коробчатого сечения обладают достаточным запасом прочности и жесткости, что позволяет безопасно их эксплуатировать в системе полносборных деревянных домов.

Все рассмотренные типы панелей (кроме серии №1), как показали экспериментально-теоретические исследования, отвечают требованиям прочности, жесткости, технологичны в условиях существующих комбинатов по изготовлению клееных панелей полносборных домов, обладают достаточной долговечностью, ремонтоспособностью на случай отслоения обшивок или их повреждения. Поэтому вопрос о применении того или иного типа панелей должен решаться экономически с учетом наличия (или отсутствия) на комбинатах исходных материалов.

Проведенные исследования предполагали, что в панели меняются только ребра, а обшивки остаются неизменными, выполненными из древесно-стружечной плиты толщиной 16 мм. Рассмотрим результаты исследований по оценке прочностных требований к плите при неизменных сечениях несущих ребер панели и различных толщинах обшивок.

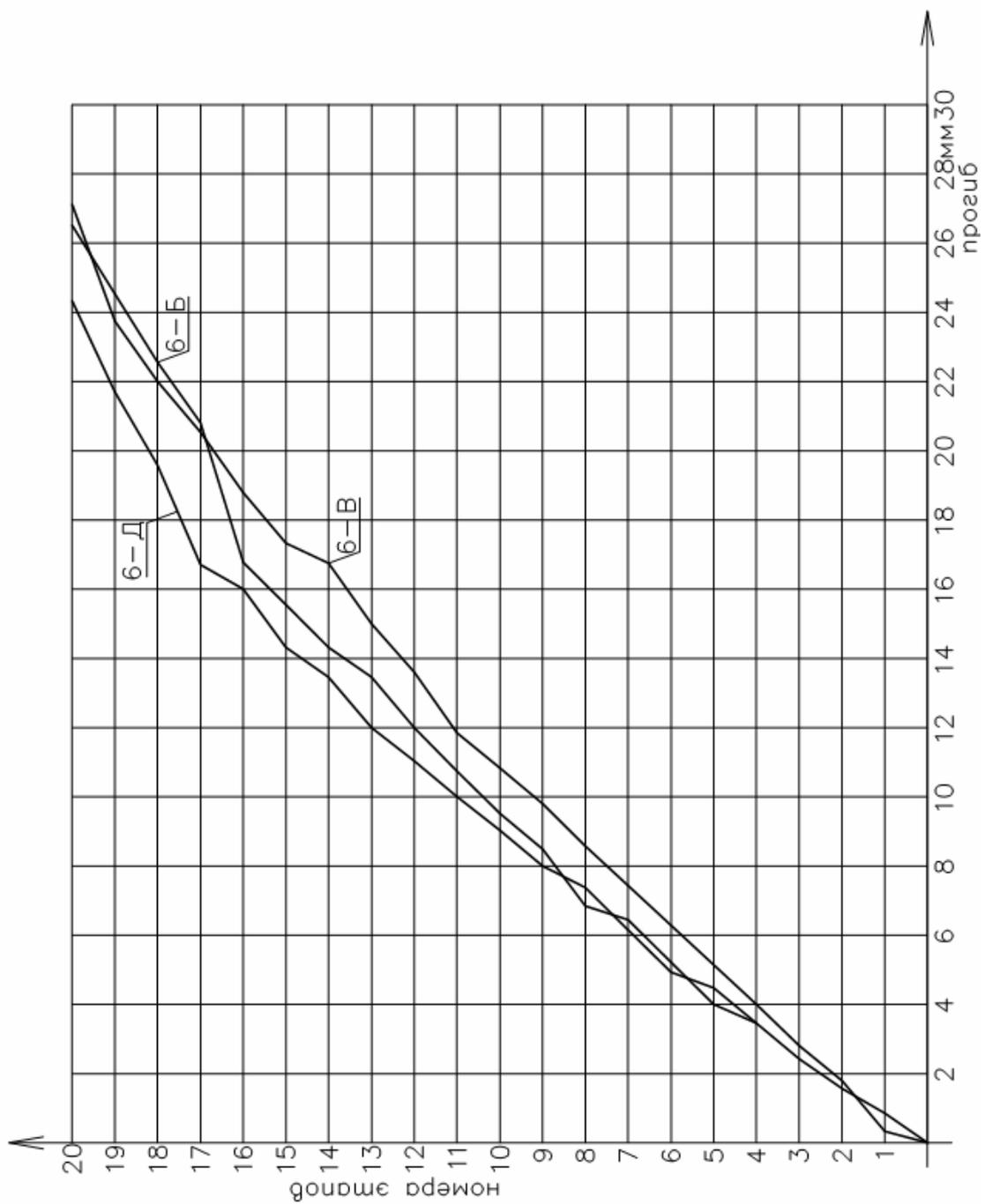


Рис. 5.7. Графики нарастания прогибов в панелях серии № 6 (панели 6-А, 6-Б, 6-В)

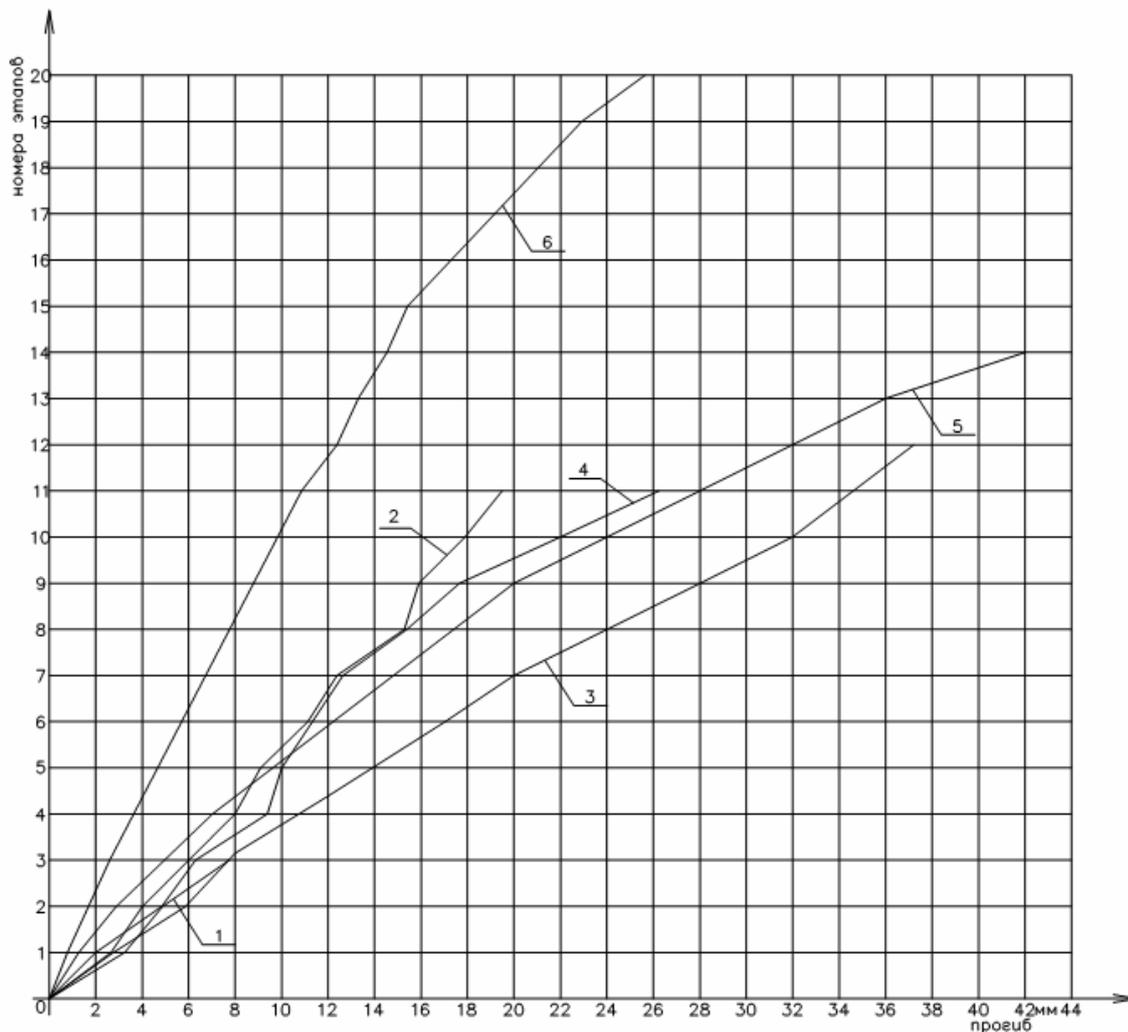


Рис. 5.8. Осредненные графики нарастания прогибов в панелях серий 1 ÷ 6:
 1 – для панелей серии № 1; 2 – для панелей серии № 2;
 3 – для панелей серии № 3; 4 – для панелей серии № 4;
 5 – для панелей серии № 5; 6 – для панелей серии № 6

5.4. Прочностные требования к древесно-стружечной плите как к несущей обшивке

Настоящие исследования базируются на том, что древесно-стружечная плита как полимерный композиционный материал может в определенной степени менять свои механические характеристики в зависимости от вариации содержания компонентов, условий прессования, ориентации наполнителя и других технологических факторов. Если учитывать действительную работу панельной конструкции в малоэтажном жилом доме, естественно возникает вопрос: а какими же прочностными характеристиками должна обладать обшивка в комбинированной ребристой панели?

В основу исследований данного вопроса положена панель перекрытия полносборного деревянного дома, работающая на поперечный изгиб.

Данная панель является наиболее нагруженной в системе дома. Нижняя обшивка работает на растяжение, являющееся наиболее опасным видом работы для древесно-стружечной плиты.

Исходной конструкцией панели для исследований принята ребристая система, состоящая из продольных несущих деревянных ребер и двух обшивок из древесно-стружечной плиты. При этом несущие ребра и обшивки работают совместно вплоть до достижения предельного состояния. Это показали и исследования. Совместность работы обеспечивается надежным склеиванием обшивок и ребер между собой.

Главным критерием, накладывающим условие на требуемую прочность древесно-стружечной плиты, является условие одновременного достижения предельного состояния и в ребрах, и в обшивках, т.е. одновременного достижения нормальными напряжениями в ребрах (древесине) и в обшивках (древесно-стружечной плите) величин расчетного сопротивления материалов, а именно:

$$\sigma_p = R_{и}^{др}; \sigma_{об} = R_p^{дсп}, \quad (5.1)$$

где σ_p – максимальное напряжение в ребре;

$\sigma_{об}$ – максимальное напряжение в обшивке;

$R_{и}^{др}$ – расчетное сопротивление древесины изгибу;

$R_p^{дсп}$ – расчетное сопротивление древесно-стружечной плиты растяжению.

При таком условии максимально используются несущие свойства ребер и обшивок панелей, т.е. имеет случай оптимального проектирования комбинированной конструкции.

На основе традиционных конструктивных расчетов комбинированных клееных конструкций условие (5.1) можно записать так

$$\sigma_p = \frac{M}{J_{пр}} \cdot \frac{h_p}{2} \leq R_{и}^{др}, \quad (5.2)$$

$$\sigma_{об} = \frac{M}{J_{пр}} \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{E^{дсп}}{E^{др}} \leq R_p^{дсп}, \quad (5.3)$$

где M – изгибающий момент;

$J_{пр}$ – приведенный (к древесине) момент инерции поперечного сечения панели;

h_p – высота ребра панели;

h – высота панели, $h = h_p + 2\delta$;

δ – толщина обшивки;
 $E^{\text{дсп}}, E^{\text{др}}$ – модули упругости соответственно древесно-стружечной плиты и древесины.

Из (5.2) и (5.3) можно получить условие

$$\frac{R_{\text{и}}^{\text{др}}}{R_{\text{р}}^{\text{дсп}}} = \frac{h_{\text{р}}}{h} \frac{E^{\text{дсп}}}{E^{\text{др}}};$$

откуда

$$R_{\text{р}}^{\text{дсп}} = \frac{h_{\text{р}} + 2\delta}{h_{\text{р}}} \cdot \frac{E^{\text{дсп}}}{E^{\text{др}}} R_{\text{и}}^{\text{др}} = \left(1 + \frac{2\delta}{h_{\text{р}}}\right) \frac{E^{\text{дсп}}}{E^{\text{др}}} R_{\text{и}}^{\text{др}}.$$

Таким образом, из условия равнопрочности элементов панели, требование к величине расчетного сопротивления древесно-стружечной плиты имеет вид

$$R_{\text{р}}^{\text{дсп}} \geq \left(1 + \frac{2\delta}{h_{\text{р}}}\right) \frac{E^{\text{дсп}}}{E^{\text{др}}} R_{\text{и}}^{\text{др}}. \quad (5.4)$$

Следует заметить, что в формуле (5.4) значения расчетных сопротивлений должны быть приняты с учетом действия на панель постоянных и временных нагрузок, т.е. с учетом длительности действия нагрузок. Каким же пределом прочности должна обладать древесно-стружечная плита с учетом изменчивости механических характеристик при выполнении условия (5.4)? Если допустить, что рост напряжений в обшивке и ребрах будет происходить пропорционально до достижения предельного состояния в условиях кратковременного нагружения панели, то условие (5.4) можно записать в виде

$$\sigma_{\text{р}}^{\text{дсп}} \geq \left(1 + \frac{2\delta}{h_{\text{р}}}\right) \frac{E_{\text{кр}}^{\text{дсп}}}{E_{\text{кр}}^{\text{др}}} \sigma_{\text{и}}^{\text{др}}, \quad (5.5)$$

где $E_{\text{кр}}^{\text{дсп}}$ и $E_{\text{кр}}^{\text{др}}$ – кратковременные значения модулей упругости древесно-стружечной плиты и древесины.

В исследованиях принято, что конструкция ребра остается неизменной. Ребро принято из древесины второго сорта размером 44×144 мм. В предельном состоянии напряжения в древесине достигают величины, равной временному сопротивлению $R_{\text{вр}}$. Значение его по СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции. Нормы проектирования» для сосны второго сорта при нагружении кромки ребра равно 33 МПа. Значение кратковременного модуля упругости древесины равно 12000 МПа. Параметры обшивки, выполненной из древесно-стружечной плиты, будем варьировать.

Толщину обшивки примем 10 мм, 13 мм, 16 мм. Поскольку модуль упругости древесно-стружечной плиты может меняться в зависимости от толщины, технологии изготовления, способа прессования и т.д., то введем величину C , равную отношению

$$\frac{E_{кр}^{дсп}}{E_{кр}^{др}} = C.$$

Анализ результатов исследований показал, что указанная величина колеблется в довольно широких пределах.

Для наших исследований примем это отношение равным 0,25; 0,375; 0,5. Тогда значения среднего предела прочности, подсчитанного по формуле (5.5) при принятых условиях, будут составлять величины, указанные в табл. 5.3.

Т а б л и ц а 5 . 3

Значения среднего предела прочности древесно-стружечной плиты

Толщина плиты (мм)	Отношение модулей упругости		
	$C = 0,25$	$C = 0,375$	$C = 0,5$
16	10,08	15,12	20,17
13	9,74	14,61	19,48
10	9,40	14,09	18,79

Определим доверительный интервал с надежностью 95 % для оценки среднего предела прочности древесно-стружечной плиты при растяжении, изменяющегося от 9,4 до 20,17 МПа, при числе испытаний образцов $n \rightarrow \infty$. При этом наибольший интерес представляют величины пределов прочности, отличающиеся в меньшую сторону от среднего значения, что при нормальном законе распределения дает основание пользоваться надежностью $\alpha = 90$ %. По таблице коэффициентов Стьюдента [32, 58] при $n \rightarrow \infty$ и $\alpha = 90$ % имеем $t_{10n} = 1,65$. При таких данных доверительный интервал (в меньшую сторону) будет равен:

$$\sigma_p^{\min} = \sigma_{p.cр}^{дсп} (1 - 1,65 \cdot C_V), \quad (5.6)$$

где C_V – вариационный коэффициент.

Фактически выражение (5.6) дает значение нормативного кратковременного сопротивления с доверительной надежностью (обеспеченностью), равной 0,95, т.е.

$$R_{p.кр}^H = \sigma_{p.cр}^{дсп} (1 - 1,65 \cdot C_V).$$

Из многочисленных испытаний [23÷26, 53, 62] древесно-стружечных плит на растяжение получено, что C_V находится в пределах 0,15÷0,21.

Тогда

$$\sigma_p^{\min} = (9,4 \div 20,17) \cdot (1 - 1,65 \cdot C_V),$$

или при $C_V = 0,15$

$$\sigma_p^{\min} = (9,4 \div 20,17) \cdot (1 - 1,65 \cdot 0,15) = (7,07 \div 15,18) \text{ МПа},$$

а при $C_V = 0,21$

$$\sigma_p^{\min} = (9,4 \div 20,17) \cdot (1 - 1,65 \cdot 0,21) = (6,14 \div 15,18) \text{ МПа}.$$

Следовательно, в зависимости от коэффициента вариации (C_V) минимально допустимое значение предела прочности древесно-стружечной плиты при растяжении с обеспеченностью 0,95 должно находиться в пределах 6,14÷15,18 МПа.

При обеспеченности 99 %, что необходимо для получения расчетных сопротивлений, доверительный интервал будет составлять (при $n \rightarrow \infty$).

$$\sigma_p^{\min} = (1 - 2,33 \cdot C_V) \sigma_p^{\text{дсп}}.$$

Это выражение определяет значения расчетных сопротивлений древесно-стружечной плиты при кратковременном действии нагрузок:

при $C_V = 0,15$

$$R_{p.\text{кр}} = (9,4 \div 20,17) \cdot (1 - 2,33 \cdot 0,15) = (6,11 \div 13,12) \text{ МПа},$$

при $C_V = 0,21$

$$R_{p.\text{кр}} = (9,4 \div 20,17) \cdot (1 - 2,33 \cdot 0,21) = (4,80 \div 10,30) \text{ МПа}.$$

Имея значение кратковременных расчетных сопротивлений, нетрудно определить и требуемые значения расчетных сопротивлений древесно-стружечных плит при одновременном действии постоянных и временных нагрузок. Для этого воспользуемся условием

$$R_p = R_{p.\text{кр}} k_{\text{дс}},$$

где $k_{\text{дс}}$ – коэффициент длительного сопротивления древесно-стружечной плиты.

По исследованиям ВНИИДрева и других авторов [23÷26, 53], значение $k_{\text{дс}}$ при растяжении древесно-стружечной плиты находится в пределах 0,32÷0,4.

Тогда значения R_p будут равны:

при $C_V = 0,15$

$$R_p = (6,11 \div 13,12) \cdot (0,32 \div 0,4) = (1,95 \div 5,25) \text{ МПа},$$

при $C_V = 0,21$

$$R_p = (4,8 \div 10,30) \cdot (0,32 \div 0,4) = (1,54 \div 4,12) \text{ МПа.}$$

Следовательно, в зависимости от коэффициента длительного сопротивления ($k_{дс}$) и коэффициента вариации (C_V) минимально допустимое значение расчетного сопротивления древесно-стружечной плиты должно находиться в пределах $1,54 \div 5,25$ МПа.

Было рассмотрено исследование прочности древесно-стружечной плиты при растяжении, как наиболее важного показателя при работе клееной панели на изгиб. Однако предприятия, выпускающие древесно-стружечную плиту, в основном при оценке качества изделий пользуются другим показателем прочности, а именно пределом прочности при поперечном изгибе. Этим же показателем лимитируют качество древесно-стружечных плит действующие ГОСТы. Поэтому сделаем переход от регламентируемой прочности древесно-стружечной плиты при растяжении к прочности при поперечном изгибе применительно к клееным панелям с несущими деревянными ребрами. С этой целью воспользуемся требованиями условия (5.5) и результатами исследований прочностных характеристик древесно-стружечной плиты, имеющихся в литературных источниках [23 ÷ 26, 53, 62].

Следует заметить, что приводимые данные нормативных сопротивлений подсчитывались по формуле

$$R^H = \sigma_{вр} (1 - 1,65 \cdot C_V).$$

Обозначив коэффициенты вариации при растяжении и изгибе соответственно как $C_{вр}$ и $C_{ви}$, запишем отношение нормативных сопротивлений при изгибе и растяжении в виде

$$\frac{R_{и}^H}{R_{р}^H} = \frac{\sigma_{вр,и} (1 - 1,65 \cdot C_{ви})}{\sigma_{вр,р} (1 - 1,65 \cdot C_{вр})}. \quad (5.7)$$

Из отношения (5.7) имеем

$$\frac{\sigma_{вр,и}}{\sigma_{вр,р}} = \frac{R_{и}^H (1 - 1,65 \cdot C_{ви})}{R_{р}^H (1 - 1,65 \cdot C_{вр})} = k \frac{1 - 1,65 \cdot C_{ви}}{1 - 1,65 \cdot C_{вр}},$$

где k – это отношение нормативного сопротивления древесно-стружечной плиты при изгибе к нормативному сопротивлению древесно-стружечной плиты при растяжении. Оно колеблется от 1,42 до 1,75, по данным [23 ÷ 26, 53, 62].

Анализируя результаты статистической обработки результатов испытаний древесно-стружечной плиты при растяжении и изгибе, проведенных различными исследователями, можно отметить, что значения вариацион-

ных коэффициентов колеблются от 0,16 до 0,21. Подсчитаем, в каких пределах может колебаться изменчивая величина

$$x = \frac{1 - 1,65 \cdot C_{вр}}{1 - 1,65 \cdot C_{ви}}$$

В табл. 5.4 приведены пределы изменчивости величины X при возможных колебаниях коэффициентов $C_{вр}$ и $C_{ви}$.

Т а б л и ц а 5 . 4

Значения величины X для различных значений $C_{вр}$ и $C_{ви}$

$C_{ви}$	$C_{вр}$					
	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
0,16	1,00	0,978	0,955	0,933	0,910	0,888
0,17	1,023	1,00	0,977	0,954	0,931	0,908
0,18	1,047	1,023	1,00	0,976	0,953	0,930
0,19	1,072	1,048	1,024	1,00	0,976	0,952
0,20	1,098	1,074	1,049	1,025	1,00	0,975
0,21	1,126	1,101	1,076	1,050	1,025	1,00

В общем случае значения отношений средних пределов прочности древесно-стружечной плиты при изгибе и при растяжении находятся в пределах

$$(0,888 \div 1)k \leq \frac{\sigma_{вр,и}}{\sigma_{вр,р}} \leq (1 \div 1,126)k \quad (5.8)$$

Левое неравенство справедливо при $C_{вр} \geq C_{ви}$, а правое – при $C_{ви} \geq C_{вр}$.

Исследования по определению механических характеристик древесно-стружечной плиты, выполненные различными исследователями, показывают, что чаще всего имеет место случай, когда $C_{ви} > C_{вр}$. Поэтому, используя данные выражения (5.8) и значения k , можно записать, что

$$\frac{\sigma_{вр,и}}{\sigma_{вр,р}} \leq (1 \div 1,126) \cdot (1,42 \div 1,75) = 1,42 \div 1,97.$$

Таким образом, средний предел прочности древесно-стружечной плиты при изгибе максимально может превышать средний предел прочности ее при растяжении в 1,97 раза, т.е.

$$\sigma_{и} = 1,97 \cdot \sigma_{р},$$

или с учетом изменчивости $\sigma_{р}$ можно записать

$$\sigma_{и} = 1,97 \cdot (9,4 \div 20,17) = (18,52 \div 39,73) \text{ МПа.}$$

Доверительный интервал с надежностью 95 % (т.е. величина кратковременного нормативного сопротивления при $n \rightarrow \infty$) будет равен:

$$R_{и}^H = \sigma_{и} (1 - 1,65 \cdot C_{ви}),$$

или при $C_{ви} = 0,16$

$$R_{и}^H = (13,63 \div 29,24) \text{ МПа},$$

при $C_{ви} = 0,21$

$$R_{и}^H = (12,10 \div 25,96) \text{ МПа}.$$

Доверительный интервал с надежностью 99 % (т.е. величина кратковременного расчетного сопротивления при $n \rightarrow \infty$) будет равен:

$$R_{и.кр} = \sigma_{и} (1 - 2,33 \cdot C_{ви}),$$

или при $C_{ви} = 0,16$

$$R_{и.кр} = (11,62 \div 24,92) \text{ МПа},$$

при $C_{ви} = 0,21$

$$R_{и.кр} = (9,46 \div 20,29) \text{ МПа}.$$

Для получения расчетного сопротивления древесно-стружечной плиты при одновременном действии постоянных и временных нагрузок необходимо полученные данные умножить на коэффициент длительного сопротивления ($k_{дс}$). Значение его колеблется в пределах $k_{дс} = 0,32 \div 0,40$. Тогда значения будут равны:

$$R_{и} = (9,64 \div 24,92) \cdot (0,32 \div 0,40) = (3,03 \div 9,97) \text{ МПа}$$

Следовательно, расчетное сопротивление древесно-стружечной плиты при изгибе должно находиться в пределах $3,03 \div 9,97$ МПа.

Как видно из (5.5), модуль упругости материала обшивки (в частности древесно-стружечной плиты) оказывает влияние как на величину геометрических характеристик, так и на прогнозируемую величину прочности древесно-стружечной плиты.

Каковы же должны быть абсолютные значения модуля упругости древесно-стружечной плиты при тех отношениях модуля упругости плиты и древесины, которые приняты в исследованиях? С этой целью выразим длительные модули упругости через кратковременные, используя временно деформационные коэффициенты.

Из выражения

$$C = \frac{E_{об}}{E_p} = \frac{n'_{вр} E_{кр}^{дсп}}{n''_{вр} E_{кр}^{др}}$$

имеем, что кратковременный модуль упругости древесно-стружечной плиты равен

$$E_{кр}^{дсп} = \frac{C \cdot E_{кр}^{др} \cdot n_{вр}''}{n_{вр}' } = \frac{C \cdot E^{др}}{n_{вр}' } .$$

Ранее отношение «С» было принято для кратковременных модулей упругости. Если перейти на длительные значения модулей упругости, то это отношение будет изменяться в пределах 0,1÷0,2. Поэтому, взяв модуль упругости древесины равным 10⁴ МПа, и $n_{вр}'$ – коэффициент, учитывающий приращение деформаций во времени при длительном нагружении, равным в среднем 0,45 [46], определим по формуле (5.9) значение величины кратковременного модуля упругости древесно-стружечной плиты. Результаты этих вычислений приведены в табл. 5.5.

Т а б л и ц а 5 . 5

Величины кратковременных модулей упругости
древесно-стружечной плиты

Модуль упругости	С				
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4
$E_{кр}^{дсп}$	2200	3300	4400	6600	8800

Как видно из табл. 5.5, с увеличением отношения «С» кратковременный модуль упругости древесно-стружечной плиты увеличивается и приближается к кратковременному модулю упругости древесины. Это связано с тем, что в подсчитываемую величину $E_{кр}^{дсп}$ заложена одна и та же величина $n_{вр}'$, т.е. заложена одинаковая степень ползучести. На самом же деле следует ожидать, что с увеличением упругих свойств материала степень ползучести не будет снижаться, величина $n_{вр}'$ будет больше, чем 0,45, и, следовательно, в табл. 5.5 при увеличении числа «С» приведены завышенные значения величины $E_{кр}^{дсп}$.

Как уже было отмечено, отношение модулей упругости, по исследованиям многих авторов, древесно-стружечной плиты и древесины колеблется в пределах 0,1÷0,2 и практический интерес при проектировании ребристых панелей представляет отношение этих модулей, изменяющееся в пределах 0,1÷0,2, причем большая величина «С» предпочтительна для тонких плит.

Таким образом, в результате проведенного исследования получены требуемые значения пределов прочности и расчетных сопротивлений древесно-стружечной плиты при растяжении и изгибе, которые приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Требуемые значения пределов прочности
и расчетных сопротивлений древесно-стружечной плиты,
используемой в качестве обшивок панелей перекрытий

Толщина обшивки (мм)	$E^{дсп} = 0,1 \cdot E^{др} = 10^3$ МПа				$E^{дсп} = 0,15 \cdot E^{др} = 1,5 \times 10^3$ МПа				$E^{дсп} = 0,2 \cdot E^{др} = 2 \times 10^3$ МПа			
	растяжение (МПа)		изгиб (МПа)		растяжение (МПа)		изгиб (МПа)		растяжение (МПа)		изгиб (МПа)	
	σ_p	R_p	$\sigma_{и}$	$R_{и}$	σ_p	R_p	$\sigma_{и}$	$R_{и}$	σ_p	R_p	$\sigma_{и}$	$R_{и}$
16	10,1	1,6	19,9	5,0	15,1	2,4	29,7	7,4	20,2	3,2	39,8	10,0
13	9,7	1,5	19,1	4,8	14,6	2,3	28,8	7,2	19,5	3,1	38,4	9,6
10	9,4	1,5	18,5	4,6	14,1	2,2	27,8	7,0	18,8	3,0	37,0	9,3

Из табл. 5.6 видно, что с уменьшением толщины обшивки требования к прочности обшивки понижаются, т.е. для более тонких обшивок можно допустить меньшую величину предела прочности, или расчетного сопротивления древесно-стружечной плиты.

Прочностные требования к плите возрастают пропорционально увеличению отношения модулей упругости материалов обшивки и ребер. Поэтому, если требуется повысить модуль упругости древесно-стружечной плиты, необходимо увеличить ее прочностные свойства.

На основе анализа действительной работы конструкции ребристой панели на изгиб (см. разд. 3 и 4), учитывая механические характеристики, полученные для древесно-стружечной плиты (см. разд. 2), а также требуемые значения механических характеристик для плиты, используемой в качестве обшивки, можно рекомендовать снижение толщины обшивки до 13 мм.

5.5. Учет длительного действия нагрузок на конструкции из древесно-стружечной плиты

Изменение прочностных и деформативных свойств конструкций со временем в зависимости от продолжительности действия нагрузки – вопрос сложный, особенно для комбинированных конструкций, выполненных из разных материалов (например, древесно-стружечная плита и древесина).

Для древесины вопрос изменения свойств со временем в зависимости от продолжительности действия нагрузки исследован достаточно полно и обстоятельно, чего не скажешь о древесно-стружечной плите. Ползучести древесно-стружечной плиты посвящены работы Н.К. Артюховского [2],

А.М. Иванова [20], Б.Е. Кондратенко [24, 30], В.М. Хрулева [68, 69], а также исследования, проведенные во ВНИИДреве [25, 26] и в ЦНИИСК им В.А. Кучеренко [55].

Исследования Н.К. Артюховского позволили заключить, что древесно-стружечная плита имеет затухающую ползучесть, т.е. обладает пределом длительной прочности и что деформации ползучести линейно зависят от напряжений. Кривые ползучести разрушившихся образцов имеют точки перегиба, а полные деформации в этих точках постоянны и не зависят от величины напряжений.

В работах А.М. Иванова освещен вопрос ползучести древесно-стружечной плиты при действии длительных нагрузок. Приводятся графики для определения коэффициентов длительного сопротивления и временных деформационных коэффициентов древесно-стружечной плиты с учетом продолжительности действия нагрузки.

В [68] дана оценка долговечности древесно-стружечной плиты, обобщен опыт ее эксплуатации в конструкциях и изделиях, проанализированы результаты длительных и ускоренных испытаний, проведенных различными авторами.

В работах [24, 25, 26, 30, 55] приведены результаты всесторонних исследований древесно-стружечной плиты. По результатам кратковременных и длительных испытаний установлены нормативные и расчетные характеристики плит, а также коэффициенты длительной прочности и коэффициенты длительной деформативности.

Длительность действия нагрузок учитывают обычно коэффициентом длительного сопротивления $k_{дс}$ (для расчетных сопротивлений) и временным деформационным коэффициентом $n_{вр}$ (для модуля упругости). При определении этих коэффициентов применительно к конструкциям, изготовленным из одного материала и подверженным нагрузкам с разным интервалом времени, можно воспользоваться рекомендациями, изложенными в работах А.М.Иванова [20].

На несущие конструкции одновременно могут действовать нагрузки различной продолжительности. Элемент должен быть рассчитан на наиболее неблагоприятное их действие. С этой целью удобно все нагрузки различной продолжительности приводить к одной продолжительности – длительной или кратковременной. По графикам коэффициента длительного сопротивления и временного деформационного коэффициента, зная продолжительность действия нагрузки, находят их значения, соответствующие фактическому времени действия нагрузок.

Учтем, что на рассматриваемую в данной работе панель в доме действуют постоянная (g) и временная (p) нагрузки, сроки действия которых

различны. Для полной нагрузки $(p + g)$ введем осредненное (эквивалентное) значение $k_{дс}^э$. Тогда, используя условие, что

$$\frac{(p + g)}{k_{дс}^э} = \frac{P}{k_{дс}} + \frac{g}{k_{дл}},$$

найдем величину коэффициента $k_{дс}^э$. После некоторых преобразований нетрудно получить, что

$$k_{дс}^э = \frac{(1 + x)k_{дл}}{x + y},$$

где $x = \frac{g}{p}$; $y = \frac{k_{дл}}{K_{дс}}$;

$k_{дл}$ – коэффициент длительности;

$k_{дс}$ – коэффициент длительного сопротивления.

Проделав аналогичные преобразования с деформационными коэффициентами, получим формулу по определению $n_{вр}^э$:

$$n_{вр}^э = \frac{(1 + x)n_{дл}}{x + y'}$$

где $y' = \frac{n_{дл}}{n_{вр}}$;

$n_{дл}$ – длительный деформационный коэффициент;

$n_{вр}$ – временный деформационный коэффициент.

Для определения коэффициентов $k_{дс}^э$ и $n_{вр}^э$ применительно к конструкциям домов из древесно-стружечной плиты, построены графики изменения этих коэффициентов в зависимости от отношения постоянных и временных нагрузок, действующих на конструкции в доме. При построении графиков использовались исследования древесно-стружечной плиты, проведенные под руководством А.М.Иванова, а также исследования, выполненные Б.Е. Кондратенко. Графики приведены на рис. 5.9 и 5.10.

Был рассмотрен вопрос ползучести панели, когда она изготавливается полностью из древесно-стружечной плиты. Варианту, когда ребра панели выполняются из древесины, а обшивки – из древесно-стружечной плиты, т.е. из разномодульных материалов, посвящены исследования, проведенные под руководством В.М.Вдовина [23], и работы Р.Б. Орловича [39–42].

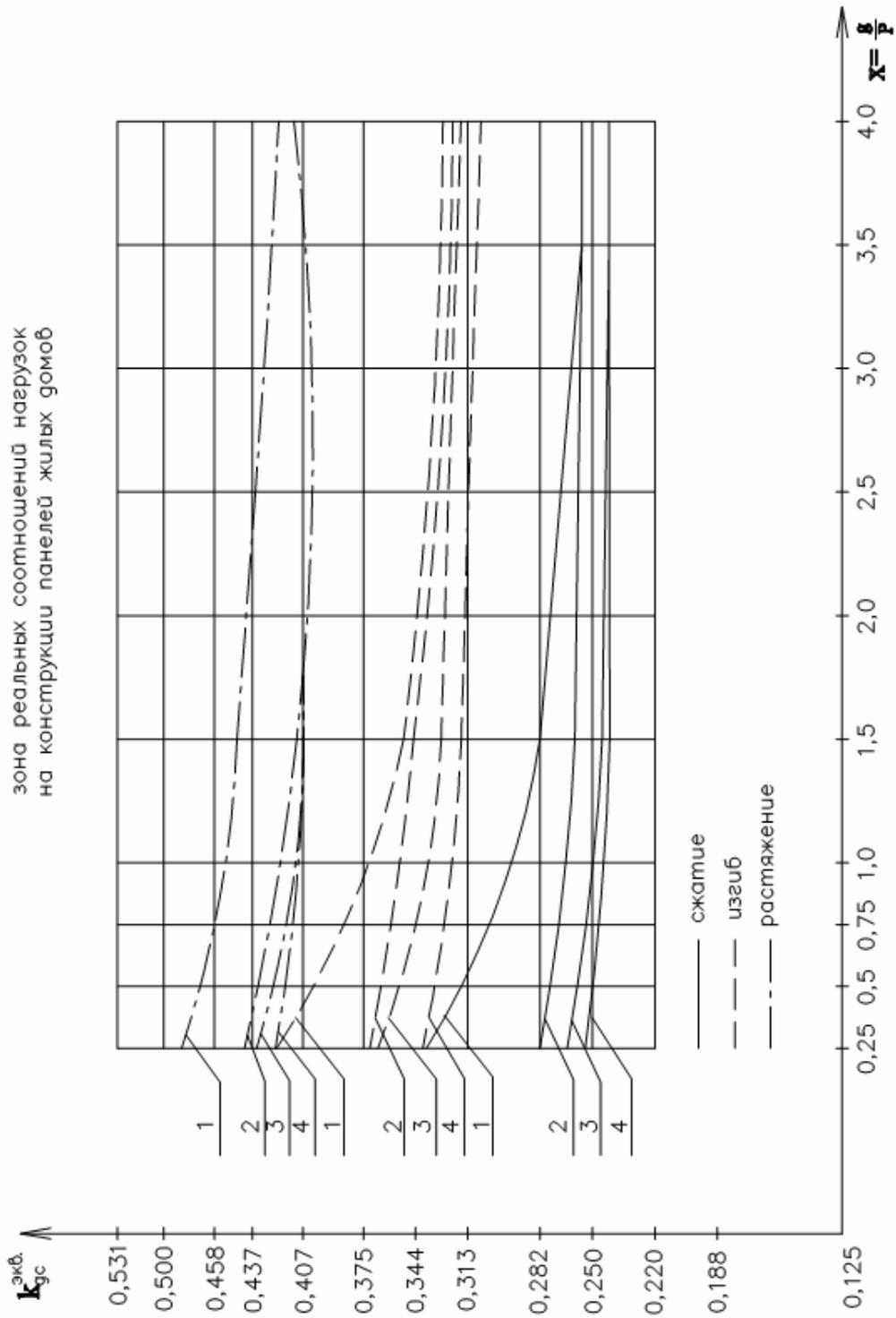


Рис. 5.9. График эквивалентного коэффициента длительного сопротивления при сжатии, изгибе, растяжении:
1 – 45 суток; 2 – 90 суток; 3 – 120 суток; 4 – 180 суток

зона реальных соотношений нагрузок
на конструкции панелей жилых домов

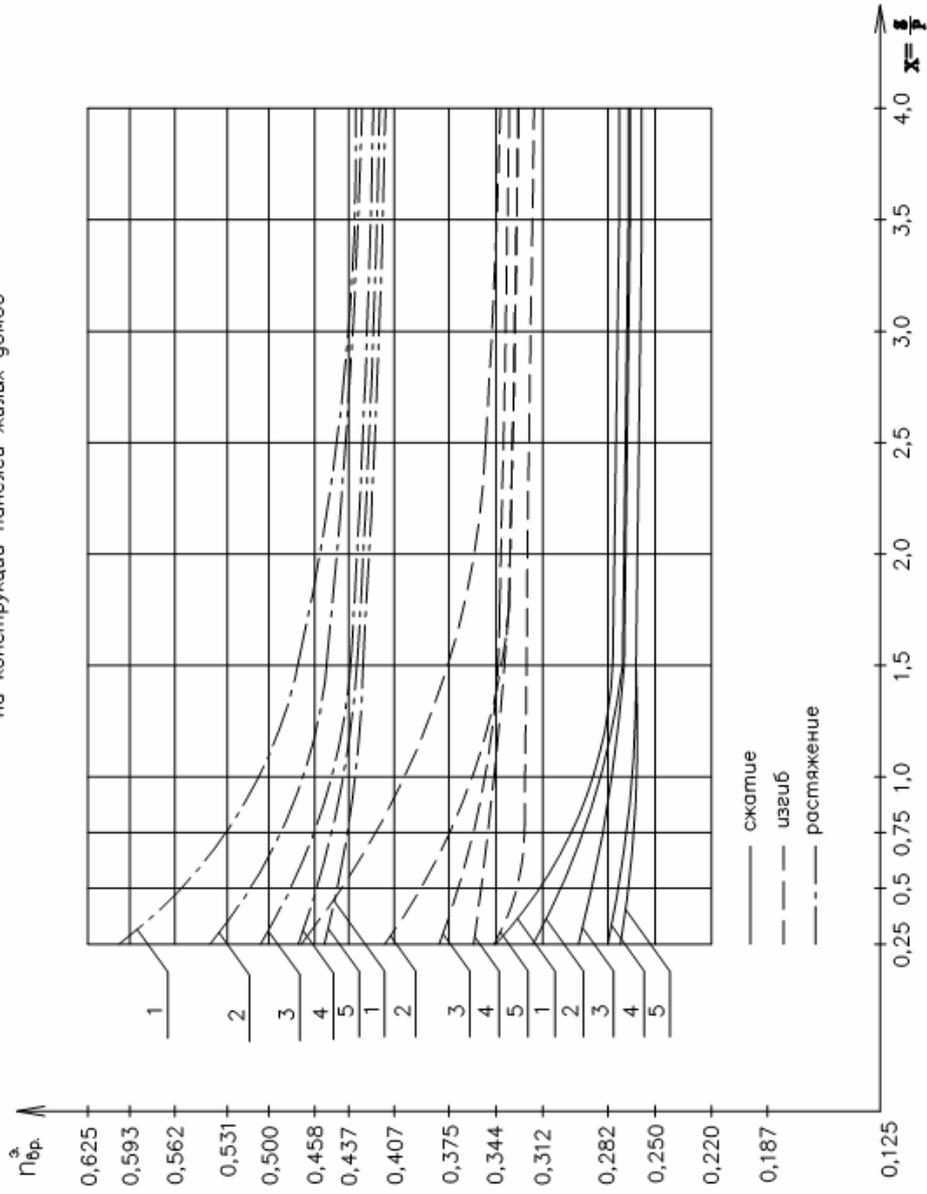


Рис. 5.10. График эквивалентного временного деформационного коэффициента при сжатии, изгибе, растяжении:
1 – 45 суток; 2 – 90 суток; 3 – 120 суток; 4 – 150 суток; 5 – 180 суток

Расчет панелей, у которых обшивки и ребра выполнены из разномодульных материалов, осуществляется с учетом приведенных геометрических характеристик, в которых отношение модулей упругости материала ребер и обшивок считается постоянным во времени. Несущая способность панелей для заданного срока службы определяется на основе кинетической концепции прочности – периодическое действие переменной части нагрузки заменяется ее постоянным действием в течение эквивалентного времени t_3 [51]. При этом длительная прочность элементов панелей оценивается по формуле [41]

$$\sigma_T = 1,03\sigma_0 \left(1 - \frac{\lg t_3}{\lg A} \right).$$

При определении σ и τ по общепринятым формулам для панелей, состоящих из элементов с различными упругими свойствами, не учитывается то, что при длительном действии нагрузки происходит перераспределение усилий между обшивками и ребрами. Поскольку сдвиговая податливость качественно выполненных клеевых соединений обшивок с ребрами незначительна, то такое перераспределение связано в основном с неодинаковой степенью изменения во времени модулей упругости $E_{об}(t)$ и $E_p(t)$, определяемых из выражения [42]

$$E(t) = 1 / [1 + \varphi(t)],$$

где для древесных материалов

$$\varphi(t) = \varphi(1 - e^{-\gamma t}). \quad (5.10)$$

По данным экспериментальных исследований Р.Б. Орловича, параметр γ в формуле (5.10) для различных древесных материалов с влажностью $\omega = 10 \div 12$ % имеет примерно одинаковое значение $\gamma \approx 0,05$ и возрастает с увеличением влажности. Предельная характеристика ползучести φ существенно зависит от вида материала, его напряженного состояния, влажности и может изменяться в широких пределах. Так, для деревянных ребер с влажностью $\omega = 10 \div 12$ % при изгибе $\varphi_{др} = 0,15 \div 1,1$, где минимальные значения $\varphi_{др}$ относятся к массивным клеевым ребрам, а максимальные – к ребрам из досок второго и третьего сортов.

Для древесно-стружечной плиты при изгибе значение $\varphi_{дсп} = 1,3 \div 2,3$ [23, 24, 30, 45, 55, 68].

Из анализа значений $\varphi_{др}$ и $\varphi_{дсп}$ следует, что степень повышения деформативности древесно-стружечной плиты во времени выше по сравнению с древесиной. Поэтому при $\varphi_{др} < \varphi_{дсп}$, согласно [41, 42], перераспределение усилий между элементами панели во времени будет характеризоваться возрастанием напряжений в ребрах и их снижением в обшивках.

Это подтверждается также экспериментальными исследованиями, проведенными под руководством В.М. Вдовина [23].

Таким образом, можно заключить, что древесина как материал, обладающий меньшей ползучестью со временем, будет воспринимать большую часть нагрузок, действующих на конструкцию, и предельное состояние конструкций панелей с обшивками из древесно-стружечной плиты в конечном счете будет определяться возможностями длительной прочности и деформативности древесины. Данный вывод подтверждается результатами эксперимента [23], в ходе которого установлено, что ползучесть клееных панелей с обшивками из древесно-стружечной плиты в конечном счете не превысила ее предельную величину для цельной древесины.

Анализ результатов исследований, приведенных в данном разделе, позволяет сделать следующие выводы.

С учетом требований прочности, жесткости и технологичности изготовления разработано несколько вариантов панелей перекрытия с использованием древесно-стружечной плиты. Они отличаются тем, что в них более полно используются свойства материалов обшивки и ребер. Изготовление таких панелей можно выполнять на технологических линиях комбинатов по выпуску полносборных домов без изменения технологии.

На основе условия полного использования прочностных свойств материалов обшивки и ребер были определены требуемые значения механических характеристик древесно-стружечной плиты, используемой в качестве обшивок панелей полносборных домов.

Учитывая механические характеристики древесно-стружечной плиты (см. разд. 2) и требуемые значения механических характеристик для нее как для обшивки, используя при этом результаты исследований, приведенные в разд. 4, можно рекомендовать для панелей с несущими ребрами из древесины снижение толщины обшивки до 13 мм.

Древесно-стружечные плиты и конструкции из них обладают явно выраженной ползучестью, особенно сильно протекающей в начале эксплуатации; поэтому значения расчетных сопротивлений и расчетных модулей упругости материалов обшивок и несущих ребер панелей следует принимать с учетом ползучести, наблюдаемой в материалах с течением времени. При назначении коэффициентов длительного сопротивления ($k_{дс}$) и временно деформационных коэффициентов ($n_{вр}$) следует более детально учитывать вероятную продолжительность действия временных нагрузок и фактическое соотношение постоянных и временных нагрузок, действующих на здание.

Для назначения коэффициентов $k_{дс}^э$ и $n_{вр}^э$ применительно к конструкциям панелей, выполненных полностью из древесно-стружечной плиты, предлагаются графики по их определению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение древесно-стружечной плиты в индустриальном домостроении позволяет более полно использовать продукцию лесозаготовок и дает возможность заменить во многих случаях дефицитную цельную древесину на древесно-плитные материалы, что способствует расширению сырьевой базы в домостроении и снижению древесинемкости конструкций.

Экспериментальным путем определены величины нормативных и расчетных характеристик древесно-стружечной плиты, выпускаемой отечественными заводами, оснащенными импортным оборудованием.

Полученные значения нормативных и расчетных сопротивлений и модулей упругости исследуемой древесно-стружечной плиты позволяют оценить ее как материал, способный воспринимать в несущих конструкциях определенную долю усилий. Учитывая сравнительно невысокий уровень напряженного состояния конструктивных элементов малоэтажных жилых домов, можно рекомендовать древесно-стружечную плиту как конструкционный материал, способный самостоятельно или в сочетании с другими конструкционными материалами воспринимать усилия, действующие в тех или иных элементах малоэтажных домов.

Проведены теоретические исследования и получены расчетные формулы по определению напряжений и перемещений в ребрах и обшивках панелей с применением древесно-стружечной плиты, достаточно хорошо описывающие напряженно-деформированное состояние панелей.

Предложены практические методы расчета ребристых панелей, изготовленных с применением древесно-стружечной плиты, с использованием коэффициента k , учитывающего неравномерность распределения напряжений по ширине панели. Характер изменения коэффициента « k » представлен в виде графика.

Результаты проведенных экспериментальных исследований панелей достаточно хорошо согласуются с теоретическими результатами.

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что обшивки и ребра работают совместно вплоть до разрушения панелей. При этом обшивки из древесно-стружечной плиты способствуют повышению несущей способности (на 55 %) и жесткости (на 49 %) панелей с ребрами из досок.

Предложены и исследованы различные варианты ребристых панелей перекрытия полносборных домов с применением древесно-стружечной плиты, основанные на непрерывном поточном изготовлении их на существующих комбинатах страны.

Предложен критерий оптимальности сечений комбинированных ребристых панелей, основанный на полном использовании прочностных свойств материалов обшивок и ребер.

На основе анализа действительной работы конструкции ребристой панели, а также фактического уровня напряжений, возникающих в них в процессе эксплуатации малоэтажных домов, установлены характеристики древесно-стружечной плиты, используемой в качестве обшивок панелей полносборных домов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
2. Артюховский, Н.К. Экспериментальное исследование длительной прочности и деформативности древесно-стружечных плит при растяжении, сжатии и изгибе [Текст] / Н.К. Артюховский // Труды Воронежского ИСИ. – 1965. – Вып. 2, № 11. – С. 101–109.
3. Аскарлов, С.Г. Инженерный метод расчета ребристой трехслойной конструкции при продольно-поперечном изгибе [Текст] / С.Г. Аскарлов // Изв. вузов. – Сер. Строительство и архитектура. – 1991. – № 6. – С. 114–116.
4. Брусиловский, А.И. Расчет трехслойных клееных строительных панелей. Исследование конструктивных пластмасс и строительных конструкций на их основе [Текст] / А.И. Брусиловский // Труды ЦНИИСК. – М.: Госстройиздат, 1962. – Вып. 11 – 420 с.
5. Васильев, В.В. Исследование и разработка технологии древесно-стружечных плит повышенной атмосферостойкости для наружной обшивки деревянных домов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Васильев. – Л., 1979. – 19 с.
6. Вдовин, В.М. Руководство по проведению натуральных испытаний панельных конструкций полносборных деревянных домов с применением древесно-стружечных плит [Текст] / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов; Пензенский инж. строит. ин-т. – Пенза, 1988. – 36 с. – Библиогр.: с. 35. – Деп. в ВНИИИС 12.02.88, №8607.
7. Вдовин, В.М. Исследование прочностных и деформационных свойств клееных ребер и панелей с использованием низкосортных пиломатериалов [Текст] / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов; Пензенский ГУАС. – Пенза, 2003. – 102 с. – Библиогр.: с. 101. – Деп. в ФГУП ВНИИИТПИ №11901.
8. ГОСТ 16483.0-89. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям [Текст]. – Взамен ГОСТ 16483.0-78; введ. 1990-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 11 с.
9. ГОСТ 16483.3-84. Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе [Текст]. – Взамен ГОСТ 16483.3-73; введ. 1984-04-13. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 7 с.
10. ГОСТ 16483.9-73*. Древесина. Методы определения модуля упругости при статическом изгибе [Текст]. – Взамен ГОСТ 16483.9-72; введ. 1974-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 7 с.
11. ГОСТ 20850-84. Конструкции деревянные клееные. Общие технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 20850-75; введ. 1985 01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 10 с.
12. ГОСТ 10632-2007. Плиты древесно-стружечные. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 10632-89; введ. 2009-01-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 15 с.

13. Гринь, И.М. Строительные конструкции из дерева и синтетических материалов. Проектирование и расчет [Текст] / И.М. Гринь – Киев: Вища школа, 1975. – 280 с.
14. Губенко, А. Б. Строительные конструкции с применением пластмасс [Текст] / А. Б. Губенко – М.: Стройиздат, 1970. – 328 с.
15. Деревянные конструкции и детали: справ. строителя [Текст] / под ред. В.М. Хрулева. – М.: Стройиздат, 1983. – 288 с.
16. Диева, Т.Э. Клеевые конструкции для деревянного домостроения [Текст] / Т.Э. Диева, Л.М. Ковальчук // Экспресс-информация. – 2006. – №1. – С. 8–9.
17. Дмитриев, П.А. Крупноразмерные плиты на основе древесины для зданий [Текст] / П.А. Дмитриев, В.И. Жаданов // Известие вузов. Строительство. – 2008. – № 6. – С. 4–9.
18. Ермолаев, Б.В. Повышение атмосферостойкости плитных материалов для заводского домостроения [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Б.В. Ермолаев. – Л., 1986. – 282 с.
19. Жданов, Е.К. Обоснование и разработка приемов и средств повышения надежности и долговечности древесно-стружечных плит в ограждающих конструкциях и полах зданий [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Е.К. Жданов. – Красноярск, 1982. – 170 с.
20. Иванов, А.М. Строительные конструкции из полимерных материалов [Текст] / А.М. Иванов, К.Я. Алгазинов, Д.В. Мартинец. – М.: Высшая школа, 1978. – 239 с.
21. Иванов, В.А. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния сотовых панелей из отходов деревообрабатывающей промышленности / В.А. Иванов // Вопросы строит. и арх-ры: респ. межвед. сб. – Минск, 1986. – Вып. 15. – С. 112–115.
22. Иванов, Ю.М. Влияние масштабного фактора на длительную прочность изгибаемых элементов деревянных конструкций [Текст] / Ю.М. Иванов // Известия вузов. Строительство. – 1994. – № 1. – С. 9–12.
23. Исследование действительной работы полносборных деревянных домов серии 101-1-2, 102-1-3, 102-1-4М, 102-1-5М, 101-1-3 и их элементов с целью обеспечения надежности их в эксплуатации [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / Пензенский ИСИ : рук. Вдовин В.М.; исполн.: Карпов В.Н. – Пенза, 1982. – №ГР 80001435. Инв. № 02821053168. – Ч. 1. – 740 с. ; Ч. 2. – 182 с.
24. Исследовать и установить расчетные и нормативные показатели для древесных плит, применяемых в малоэтажном домостроении [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / рук. Кондратенко Б.К. – Балабаново, 1079. – 87 с. – Библиогр. с. 84–86 – № ГР 76058445 – Инв. № Б 693458.
25. Исследование комплексного усовершенствования свойств древесно-стружечных плит для различных областей применения. Разработка нормативных требований к древесно-стружечным плитам, используемым в малоэтажном домостроении [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / ВНИИДрев: рук. Алабушев В.П. – Балабаново, 1976. – 72 с. – Библиогр. с. 70–71 – №ГР 77049884.
26. Исследование по разработке требований к древесным плитам, применяемым в качестве ограждающих конструкций в малом домостроении, и

рекомендации по методам определения механических характеристик [Текст]: отчет о НИР (Заключ.) / МЛТИ: рук. Королев В.И. – М., 1977. – 85 с. – Библиогр. с. 83–84 – № ГР 77059723 – Инв. № Б 656165.

27. Кислый, В.В. Проблемы развития деревянных клеевых конструкций в России [Текст] / В.В. Кислый, Л.М. Ковальчук // Строительные материалы. – 2003. – № 4. – С. 6–7.

28. Коврижных, Л.П. Исследование и разработка технологии древесностружечных плит на основе модифицированного фенолформальдегидного связующего [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Л.П. Коврижных. – Л., 1980. – 157 с.

29. Кондратенко, Б.Е. Исследование на сжатие стеновых панелей ПСН и ПСЕ [Текст] / Б.Е. Кондратенко, В.М. Воеводин // Сб. тр. ВНИИДрев. – 1978. – С. 110.

30. Кондратенко, Б. Е. Исследование прочности и деформативности панелей с обшивками из древесных материалов для домов заводского изготовления [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б. Е. Кондратенко. – М., 1980. – 23 с.

31. Конструкции из дерева и пластмасс [Текст] / под ред. Г.Г. Карлсена, Ю.В. Слицкоухова. – М.: Стройиздат, 1986. – 543 с.

32. Назаров, Г.И. Конструкционные пластмассы [Текст] / Г.И. Назаров, В.В. Сушкин, Л.В. Дмитриевская. – М.: Машиностроение, 1973. – 192 с.

33. Корчаго, И.Г. Применение древесно-плитных материалов в строительстве [Текст] / И.Г. Корчаго. – М.: Стройиздат, 1984. – 96 с.

34. Крейндли, Л.Н. Проектные решения деревянных домов заводского изготовления [Текст] / Л.Н. Крейндли, Р.П. Антонова. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1975. – 255 с.

35. Лехницкий, С.Г. Анизотропные пластинки [Текст] / С.Г. Лехницкий – М.: Гостехориздат, 1957. – 463 с.

36. Лукаш, А.А. Клееные слоистые материалы для домостроения [Текст] / А.А. Лукаш // Строительные материалы XXI века – 2008. – № 11. – С. 42–43.

37. Лукичев, А.В. Перспективы деревянного каркасного домостроения в России [Текст] / А.В. Лукичев // Строительные материалы XXI века – 2008. – № 11. – С. 44–45.

38. Мартемьянов, В.И. О расчете трехслойных панелей с комбинированным наполнителем [Текст] / В.И. Мартемьянов, Ю.В. Осетинский // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1988. – № 6. – С. 18–21.

39. Орлович, Р.Б. Длительная прочность деревянных элементов при сложном напряженном состоянии [Текст] / Р.Б. Орлович // Известие вузов. Строительство и архитектура. – 1986. – № 11. – С. 115–117.

40. Орлович, Р.Б. О применении критериев длительной прочности в расчетах деревянных конструкций [Текст] / Р.Б. Орлович // Известие вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – № 5. – С. 15–19.

41. Орлович, Р.Б. Напряженно-деформированное состояние клефанерных плит при длительном нагружении [Текст] / Р.Б. Орлович // Известие вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – № 10. – С. 105–107.

42. Орлович, Р.Б. Длительная прочность и деформативность конструкций из современных древесных материалов при основных эксплуатационных воздействиях [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Р.Б. Орлович. – М., 1991. – 40 с.
43. Пантюшкина, Л. И. Панели из облицованных древесно-стружечных плит / Л.И. Пантюшкина, В.В. Кореш // Известие вузов. Строительство и архитектура. – 1987. – № 7. – С. 130–131.
44. Папкович, П.Ф. Теория упругости [Текст] / П.Ф. Папкович – М.: Оборонгиз, 1939. – 640 с.
45. Плиты древесно-стружечные. Методы испытаний [Текст]: сб. ГОСТов. - Содерж.: ГОСТ 10633-78*; ГОСТ 10634-88*; ГОСТ 10635-88; ГОСТ 10636-90; ГОСТ 10637-78; ГОСТ 23234-2009. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 20 с.
46. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) [Текст] / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1988. – 216 с.
47. Проневич, В.П. Типовые проекты домов для строительства на селе [Текст] / В.П. Проневич // Жилищное строительство, 1980. – № 7. – С. 2–4.
48. Проневич, В.П. Деревянное панельное домостроение [Текст] / В.П. Проневич – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 128 с.
49. Разработка прогрессивной технологии строительных конструкций и элементов деревянных домов заводского изготовления. Изыскание путей повышения атмосферостойкости древесно-стружечных плит для наружных обшивок панелей деревянных домов : отчет о НИР (заключ.) [Текст] / ЛЛТА; рук. Куликов В.А., 1984. – 60 с. – Библиогр.: с. 58–59. – № ГР 01840053459. – Инв. №02850022185.
50. Разработка рекомендаций по применению древесных плит и фанеры в деревянном панельном домостроении и технических комплексных требований к ним [Текст]: отчет о НИР (промежуточ.) / ВНИИДрев; рук. Воеводин В.М., 1984. – 41 с. – Библиогр.: с. 39–40. – № ГР 81050800. – Инв. № 02850003552.
51. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций [Текст] / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко – М.: Стройиздат, 1976. – 28 с.
52. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций [Текст] / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1981. – 40 с.
53. Рекомендации по методам испытаний древесных плит для строительства [Текст] / Министерство лесной и бумажной промышленности. – М.: ЦНИИСК, 1985. – 49 с.
54. Рекомендации по проектированию панельных конструкций с применением древесины и древесных материалов для производственных зданий [Текст] / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 120 с.
55. Рекомендации по расчетным характеристикам древесных плит [Текст] / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 24 с.
56. Руководство по изготовлению и контролю качества деревянных клееных конструкций [Текст] / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 79 с.
57. Руководство по индустриальному изготовлению деревянных клееных конструкций для строительства [Текст] / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1975. – 60 с.

58. Румшицкий, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента [Текст] / Л.З. Румшицкий – М.: Наука, 1971. – 192 с.

59. Серов, Е.Н. Некоторые результаты научных исследований и анализа отечественных и зарубежных норм проектирования клееных деревянных конструкций [Текст] / Е.Н. Серов, Ю.Д. санников // Известие вузов. Строительство. – 1994. – № 11. – С. 25–30.

60. Синяев, О.В. Феноменологическая модель деформирования строительных материалов [Текст] / О.В. Синяев // Известие вузов. Строительство. – 1994. – № 2. – С. 29–33.

61. Совершенствование и исследование действительной работы конструкций полносборных деревянных домов с целью повышения надежности в эксплуатации [Текст]: отчет о НИР (промежуточ.) / Пензенский ИСИ; рук. Вдовин В.М.; исполн.: Карпов В.Н. – Пенза, 1985. – № ГР 01840047133. – Инв. №02860034066. – Ч. 1 – 93 с., Ч. 2 – 67 с., Ч. 3 – 62 с., Ч. 4 – 100 с.

62. Совершенствование и исследование действительной работы конструкций полносборных деревянных домов с целью повышения надежности их в эксплуатации [Текст]: отчет о НИР (закл.) / Пензенский ИСИ; рук. Вдовин В.М.; исполн.: Карпов В.Н. – Пенза, 1987 – № ГР 01840047133. – Инв. № 02860034066. – Ч. 1 – 77 с., Ч. 2 – 74 с., Ч. 3 – 56 с., Ч. 4 – 43 с.

63. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования [Текст]. – М.: Стройиздат, 1982. – 66 с.

64. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования [Текст]. – М.: Стройиздат, 1982. – 36 с.

65. Тимошенко, С.П. Пластины и оболочки [Текст] / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Наука, 1966. – 635 с.

66. Титулин, А.А. Проблемы использования древесных материалов в строительстве [Текст] / А.А. Титулин [и др.] // Жилищное строительство. – 2009. – №7. – С. 10–12.

67. Фрейдин, А.С. Синтетические клеи для панельного домостроения и клееных деревянных конструкций [Текст] / А.С. Фрейдин, А.Е. Гриб. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1980. – 77 с.

68. Хрулев, В.М. Долговечность древесно-стружечных плит [Текст] / В.М. Хрулев, К.Я. Мартынов. – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 167 с.

69. Хрулев, В.М. Производство конструкций из дерева и пластмасс [Текст] / В.М. Хрулев. – М.: Высшая школа, 1989. – 239 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ДОМОВ И ПАНЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДРЕВЕСНО-ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ....	6
1.1. Современные древесно-плитные материалы в конструкциях деревянных домов	7
1.2. Древесно-стружечные плиты как материал для несущих панельных конструкций	16
1.3. Опыт проектирования и строительства домов с применением древесно-стружечных плит	17
1.4. Проблемные задачи в дальнейшем развитии деревянного домостроения с применением древесно-стружечных плит	24
2. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ	26
2.1. Определение предела прочности при сжатии	28
2.2. Определение предела прочности при растяжении	30
2.3. Определение предела прочности при изгибе	32
2.4. Определение предела прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты.....	33
2.5. Определение модуля упругости при сжатии	39
2.6. Определение модуля упругости при растяжении	43
2.7. Определение модуля упругости при изгибе	44
2.8. Нормативные и расчетные характеристики древесно-стружечных плит	45
3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПАНЕЛИ С ОБШИВКАМИ ИЗ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ	51
3.1. Общая постановка вопроса	51
3.2. Исследование напряжений в обшивках и ребрах	52
3.2.1. Обоснование расчетной схемы	52
3.2.2. Вывод расчетных формул	54
3.2.3. Анализ полученных формул и рекомендации по их использованию..	63
3.3. Исследование работы панели по схеме неразрезной плиты	68
3.3.1. Расчетная схема плиты и вывод расчетных формул	68
3.3.2. Анализ полученных формул	76
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПАНЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ	83
4.1. Методика испытания панелей	83
4.2. Результаты испытаний панелей.....	89
4.3. Сравнение результатов эксперимента и теоретических исследований. Оценка результатов испытания панелей.....	103

5. ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ПОЛНОСБОРНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ	109
5.1. Концепция оптимизации конструктивных решений панелей	109
5.2. Поиск рациональных конструкций несущих ребер панели.....	110
5.3. Испытание панелей с различными конструкциями несущих ребер	111
5.4. Прочностные требования к древесно-стружечной плите как к несущей обшивке	120
5.5. Учет длительного действия нагрузок на конструкции из древесно-стружечной плиты.....	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	136
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	138

Научное издание

Вдовин Вячеслав Михайлович
Карпов Владимир Николаевич

НЕСУЩИЕ ПАНЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ
ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ
Учебное пособие

Редактор М.А. Сухова
Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 15.08.14. Формат 60x84x/16/
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ.л. 8,37. Уч.-изд.л. 9,0. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.
Заказ №271.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28