

УДК 624.011.14
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ЭЛЕМЕНТОВ СОСТАВНЫХ БАЛОК

Синцов. А.В., научные руководители к.т.н., доцент Митрофанов В.А.,
к.т.н., доцент Синцов В.П.

Балки являются одним из самых употребляемых строительных элементов любых зданий и сооружений. По своей статической схеме балки представляют конструкцию, как правило, работающую на поперечный изгиб. По стальным балкам могут быть осуществлены междуэтажные перекрытия каменных зданий, балки используются в стальных рамных каркасах высотных гражданских и общественных зданий, стальные балки применяются в спортивных и зрелищных сооружениях, в промышленных зданиях, в металлических мостах под автомобильные и железнодорожные дороги, в различных башнях и т.д.

Металлические балки. Наиболее рациональными из стальных являются **прокатные балки двутаврового сечения**: прокатные двутавры с уклоном внутренних граней полков (рис. 1.а) и широкополочные двутавры с параллельными полками (рис.1.б).

При недостаточной несущей способности и жесткости прокатных балок изготавливают **составные сварные балки**. Простейшая составная балка из 3-х листов: вертикального – стенки и 2-х горизонтальных поясов (рис.1 в). Сечение балок может компоноваться из листа и 2х тавров (рис.1 г). При больших нагрузках проектируют двустенные коробчатые балки (рис.1.д).

В коснструкциях, подвергающихся динамическим нагрузкам, целесообразно составные балки проектировать на высокопрочных болтах или заклепках (рис. 1. е, ж).

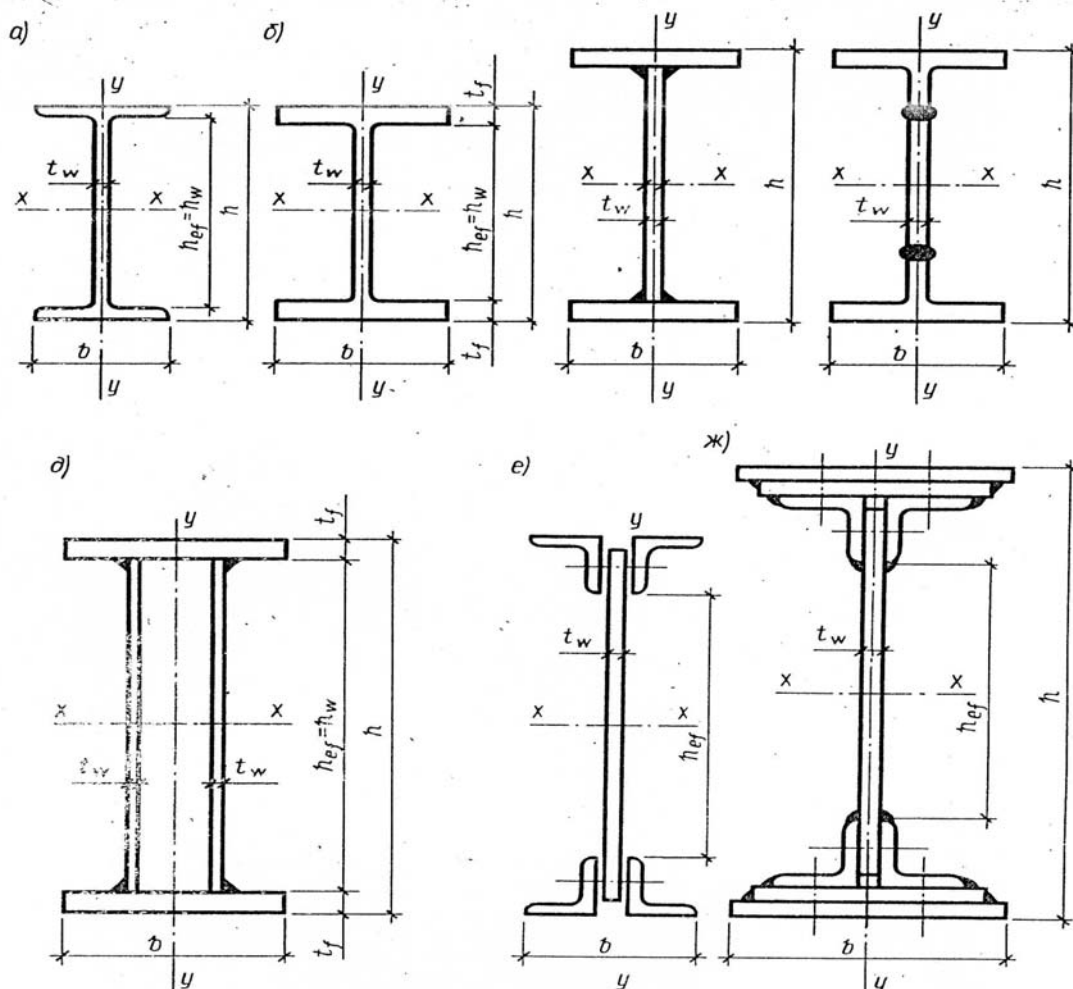


Рис. 1. Типы сечения стальных балок

В строительстве находят применение и другие виды балок. **Сквозные балки с перфорированной стенкой** (рис. 6.2.а) применяют в том случае когда необходимо увеличить несущую способность прокатных двутавров. Их получают за счет увеличения высоты перфорированной стенкой, при этом увеличивается несущая способность и жесткость балок. Для уменьшения влияния поперечной силы в некоторых случаях применяют раскосы.

В **балках с гофрированными стенками** конструктивно увеличена жесткость стенки. В таких балках нет ребер жесткости, за счет этого уменьшается расход металла на стенку и длина сварных швов. Стенки выполняются волнистыми с соотношением высоты волны к длине волны $1/5 \dots 1/20$, при этом длина заготовки стенки увеличивается на $3 \dots 5\%$. Применение таких балок дешевле на $10 \dots 15\%$ по сравнению с обычными сварными.

Предварительно-напряженные балки, у которых задают начальные напряжения, обратные по знаку, тем, которые будут при эксплуатации. Предварительное напряжение осуществляется в основном тремя способами. затяжками, регулировкой уровня опор, предварительным выгибом. За счет предварительного , напряжения можно уменьшить расход стали на $10 \dots 20\%$, а стоимость на $5 \dots 12\%$.

Бистальные балки выполняют из различных марок сталей. Наиболее нагруженные элементы балок - пояса балок, менее нагружены стенки. В бистальных балках для поясов применяют стали более высокой прочности (10Г2С1, 14Г2), для стенок - стали обычной прочности. Бистальные балки п h_w h_w рименяют широко при статическом действии нагрузок. Применение таких балок может дать экономию от 5 до 15% стоимости по сравнению с балками из стали одной марки.

Балки с тонкими стенками выполняются жесткими ребрами (рис.2.б). В обычных балках мы имеем отношение $t_w/h_w = 1/100 \dots 1/200$; в балках с тонкой стенкой соотношение принимаеткс $t_w/h_w = 1/350 \dots 1/700$ (h_w – высота стенки; t_w - толщина стенки). Концентрируя металл в ребрах и уменьшая толщину стенки, можно получить экономию стали до $10 \dots 20\%$.

Деревянные балки. Клееные цельнодеревянные конструкции или деревянные в сочетании с фанерой применяют в несущих и ограждающих частях зданий промышленного, гражданского, сельскохозяйственного назначения и в мостах.

Клееные балки применяют в несущих конструкциях покрытий, пе-рекрытий холодных и отапливаемых здаий; их изготавливают прямоугольного и двутаврового сечений.

В междуэтажных и чердачных перекрытиях пролетом до 6,5 м рекомендуется применять дощатые балки двутаврового и рельсового сечений с полками и стенками из цельных досок; для несущих конструкций промышленных зданий балки с параллельными поясами применяют прямоугольного и двутаврового сечений пролетом от 6 до 12 м.

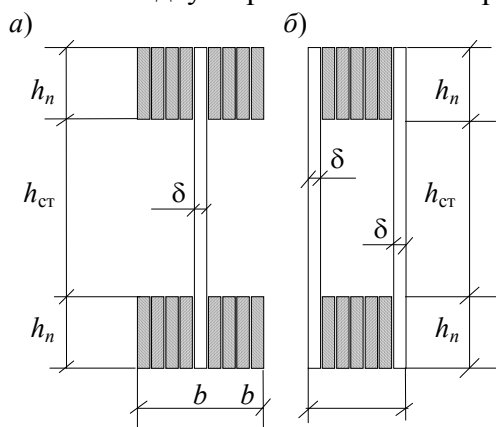


Рис. 2. Поперечные сечения клееных балок с плоской фанерной стенкой.

а – двутаврового сечения; б – коробчатого сечения.

Клеефанерные двускатные или с параллельными поясами балки (рис. 2) применяют как несущие конструкции покрытий для пролетов 6-15. В балках двутаврового сечения стенки выполняют из клееной или бакелизированной фанеры толщиной не менее 10 мм, а пояса — из двух слоев досок или брусков с каждой стороны стенки. Первый слой

поясов, прикрепляемый к фанере, во избежание разрыва клеевого шва при различной усушке дерева и фанеры выполняют из двух узких досок шириной не более 8-10 см, располагаемых с горизонтальным зазором между ними не менее 1-1,5 см.

Деревянные клееные балки с волнистой фанерной стенкой имеют двутавровую форму, полки выполняют из деревянных прямоугольных брусков с волнообразной фанерной стенкой из водостойкой фанеры. Бруски поясов рекомендуется применять цельного сечения при необходимости стыки выполнять зубчатым шипом, изготавливаемым специальной фрезой. Фанерную волнистую стенку на клею заделывают в пазы, выбранные в поясах балок. Односкатные и двускатные балки пролетом от 6 до 9 м применяют в качестве несущих конструкций одноэтажных промышленных и особенно сельскохозяйственных зданий. По торцам балок устраивают ребра жесткости, которые следует устанавливать после запрессовки фанерной стенки. Балки антисептируют обмазкой или опрыскиванием из краскопульта. Деревянные бруски не должны иметь влажность выше 15%. Толщину, высоту фанерной стенки, а также длину и высоту волны фанеры определяют расчетом.



Рис. 3. Двутавровая балка со стенкой из плиты OSB.

Исключительные параметры таких балок являются результатом свойств характерных двутавровому сечению, а также высокого качества составных материалов - слоёв из клееного дерева и полотна из плиты OSB 3. Составные элементы балки подвергаются прессовке в специальных прессах с использованием водостойких клеев, благодаря чему они достигают высокую жесткость и гарантированную стабильность размеров. Благодаря точной разработке продукта исчезла проблема скрипа и скручивания деревянных балок. Перекрытия, изготовленные из таких двутавровых балок, отличаются более высокой термической изоляционной характеристикой по сравнению с традиционными бетонными перекрытиями. Двутавровая балка идеально подходит для каркаса крыш, перекрытий и стен. Грузоподъемность балок позволяет выдерживать более высокие нагрузки при больших пролетах. Благодаря малому собственному весу монтаж балок прост (не требуется подъёмный кран) и не занимает много времени по сравнению с монтажом железобетонных балок или балок из цельной древесины.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- провести экспериментальные исследования составных балок следующего конструктивного решения: клеефанерная балка с плоской стенкой вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины; клеефанерная балка с плоской стенкой с поясами из деревянных брусков, приклеенных по бокам стенки; клеефанерная балка с волнистой стенкой, вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины; составная балка с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на шурупах.
- разработать компьютерную модель составной балки с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на основе МКЭ, позволяющая получать пространственное распределение напряжений в элементах составной балки
- сопоставить результаты теоретических, численных и экспериментальных исследований.

1. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОСТАВНЫХ БАЛОК

Металл - первый искусственный материал в строительстве и архитектуре.

Первые конструкции из металла появились еще до нашей эры. Так, в IV веке до н.э. были найдены колонны в Индии, в 125 г. до н.э. в Риме был обнаружен Пантеон с куполом диаметром 43 м.

В XVII веке кованые бруски сваривались кузнечной сваркой или соединялись на клиньях. В этот период появляются теоретические исследования в области сопротивления материалов, формулируется закон Гука (1678 г.), закон механики Ньютона (1687 г.).

В XVIII веке более всего применяются конструкции из чугуна. Россия выходит на первое место по производству чугуна. Первые чугунные конструкции перекрытий появились на Урале (перекрытие крыльца Невьянской башни). В 1720 году Вариньон формирует теорию 3-х моментов, в 1749 г. Эйлер разрабатывает теорию продольного изгиба.

В конце XVIII в. создается метод пудлингового получения железа, этот период можно считать началом применения металлических (железных) конструкций в зданиях и сооружениях.

В начале XIX века в Англии были применены зетовые профили, позднее осуществили прокат двутавровых: балок. В России в 40х годах XIX века был освоен прокат профильного и листового металла. Во 2-й половине XIX века чугунные конструкции достигли совершенства: создано такое крупное сооружение, как арочный мост из чугунных двутавровых балок через реку Неву в Петербурге (автор С.В. Кербедз), который эксплуатировался до 40-х годов XX столетия. Важнейшим событием этого периода стало возведение Бруклинского моста пролетом 488 м. В 1856 г. открыт бессемеровский, в 1864 г. – мартеновский и в 1878 г. томасовский способы производства стали. Чугун уступает место новому материалу более технологичному и надежному в эксплуатации. Наступает переломный этап в развитии металлоконструкций.

Появление нового материала - стали стимулировало развитие методов расчета конструкций. Работы Л. Навье, Э. Винклера, О.Мора, Д.И. Журавского, Ф.С.Ясинского, Н.А. Белелюбского, В.Г.Шухова, Н.С.Стрелецкого и многих других позволили создать стройную методику расчета.

В 20-м столетии построены уникальные сооружения: мосты в Японии пролетом 2500 м, высотные здания высотой 620 м в Канаде и др.

Материалами для металлических конструкций служат прокатная сталь, стальное литье и алюминиевые сплавы. Сталь - сплав железа с углеродом и незначительным количеством примеси и легирующих добавок. Стали, подразделяются на стали углеродистые и легированные. Наибольшее применение получила малоуглеродистая сталь. По способу выплавки стали, подразделяют на мартеновские и конверторные, при поставке их не различают по способу изготовления. В зависимости от степени раскисления различают спокойную, полуспокойную и кипящую стали.

В зависимости от механических свойств ($\sigma_{и}$, $\sigma_{у}$) все стали условно делят на три группы – с обычной, повышенной и высокой прочностью. К сталям с обычной прочностью относят малоуглеродистые стали, с повышенной прочностью – низколегированные, и высокой прочности - среднелегированные стали.

Древесина – естественный старейший строительный материал. Первые конструкции и сооружения были выполнены из дерева: дома, мосты, оборонительные сооружения, корабли и т.д. Но как о произведениях инженерного искусства можно начинать с древнеримских мостов. Пролеты достигали 40 м. Проекты мостов были выполнены и опережали свое время. В XIX веке возведены: арочный мост пролетом 298 м через Неву И. П. Кулибина (17761 балочный мост пролетом 100 м через Рейн (1756-1758). Шпиль колокольни церкви Св. Петра в Риге высотой 130 м был возведен в 1666 г. Р. Бинденшу.

В XVIII веке в России строят первые сооружения из дерева: башня Адмиралтейства (1738) высотой 72 м, шпиль колонны Петропавловского собора (1703-1710) высотой 118 м. Все сооружения выполнены без предварительных расчетов, т.е. интуитивно, и можно поражаться мастерству «самоучек». До середины прошлого века дерево было практически единственным универсальным материалом массового применения для перекрытий больших

пролетов. Однако дерево постепенно стало уступать главенствующую роль железу (чугуну и стали) и к началу XX века было почти полностью вытеснено из сферы инженерных конструкций.

"Второе рождение" деревянных конструкций пришлось на 20-е годы прошлого столетия, в связи с острым дефицитом металла. В этот период были построены 100 метровые тонкостенные и ребристые своды-оболочки и градири на гвоздевых соединениях (своды Шухова-Брода, гиперболические шуховские башни, купола цирков, железнодорожные мосты пролетов до 43 м. и другие). В послевоенные годы древесина как строительный материал во второй раз за свою историю была вытеснена железобетоном и сталью.

Современные средства защиты древесины от гниения (антисептики), и возгорания (антипирены) позволяют гарантировать сохранность древесины от гниения до 30 лет. Применение клееных пакетов позволяет древесине приобрести новые качества. В ряде случаев клееные деревянные конструкции оказываются более экономичными, чем железобетонные или стальные.

Древесина – это созданный природой материал с ярко выраженной анизотропией строения. Ее прочность при действии нагрузки вдоль волокон (растяжении) на порядок выше, чем при поперек (скалывании). Так, например, если предел прочности ($R_{вп}$) при испытании на растяжение чистой древесины (без пороков) составляет 100 МПа, то при скалывании вдоль волокон всего лишь 7 МПа. Поэтому полностью реализовать достоинство древесины, т.е. прочность при растяжении, практически невозможно, т.к. деревянным конструкциям обычно свойственно сложное напряженное состояние. Модуль упругости древесины при расчете по предельным состояниям второй группы принимают равным: вдоль волокон $E = 10\,000$ МПа ($100\,000$ кгс/см²); поперек волокон $E_{90} = 400$ МПа (4000 кгс/см²). Модуль сдвига древесины относительно осей, направленных вдоль и поперек волокон, принимают равным $G_{90} = 500$ МПа (5000 кгс/см²). Коэффициент Пуассона древесины поперек волокон при напряжениях, направленных вдоль волокон, принимают равным $\nu_{90,0} = 0,5$, а вдоль волокон при напряжениях, направленных поперек волокон, $\nu_{0,90} = 0,02$.

Фанера. Для клееных фанерных конструкций применяют фанеру марки ФСФ по ГОСТ 3916-69, а также фанеру бакелизованную марки ФБС по ГОСТ 11539-73*. Расчетные сопротивления строительной фанеры приведены в табл. 10 СНиП II-25-80. Величины модулей упругости строительной фанеры в плоскости листа E_f и G_f и коэффициенты Пуассона ν_f при расчете по второй группе предельных состояний следует принимать по табл. 11 СНиП II-25-80.

Плита OSB. Ориентированно-стружечная плита из плоской древесной щепы – OSB или Oriented Strand Board – изготавливается при высоком давлении и температуре путем прессования плоской древесной щепы. В качестве связующих материалов для OSB используются синтетические смолы. Таким образом, OSB имеет улучшенные водостойкие характеристики. Плита изготавливается методом прессования плоской древесной щепы при высоком давлении и температуре с использованием в качестве связующих материалов водостойких синтетических смол. Это первая плита древесного происхождения, разработанная специально для строительства, вытесняя фанеру и ДСП. Главное отличие плит OSB от других материалов – в их особой прочности. Плита OSB изготавливается преимущественно из хвойных пород деревьев. При нагружении длинная переплетенная щепка передает нагрузку друг другу, образуя единый конструкционный элемент, свободный от концентраторов напряжений и сочетающий в себе высокую прочность с высокой эластичностью, за счет чего в плите прочно удерживаются шурупы, гвозди, строительные скобы и другие крепежные элементы. Плита OSB отличается стабильностью формы, устойчивостью к изменяющимся климатическим условиям, к механическим ударам, высоким звукопоглощением, хорошей обрабатываемостью. Микроструктура сцепленной щепы предохраняет края плиты от обламывания при соединении их гвоздями, придает жесткость и устойчивость к изгибу, что очень важно при скелетном строительстве. Плита OSB содержит свыше 90% древесины хвойных пород и изготавливается из стволов деревьев

небольшого диаметра, получаемых с санитарной прорубки лесов, которые подвергаются окорке, распиловке и лущению на плоскую щепу длиной 25-150 мм, толщиной 0,4-0,7 мм и шириной 5-50 мм. При изготовлении плиты чередуются слои с параллельным и перпендикулярным к длине плиты расположением длинной стороны щепы, причем наружные слои плиты выполняются только с расположением длины щепы параллельно длинной стороне листа.

Высокие технические характеристики плиты OSB обеспечиваются волокнистостью древесины, выравниванием плоской щепы в слоях и сцеплением слоев щепы между собой, связующей смолой, высокой температурой и давлением прессования, а пропитка парафиновой эмульсией обеспечивает высокую устойчивость к изменяющимся погодным условиям.

Свойства:	Плотность kg/m^3	580-640 (в зависимости от толщины)		
Содержание влаги	%	3, ± 2		
Прочность на изгиб (сухой)	продольная ось N/mm^2	30-16	поперечная ось N/mm^2	16-8
Прочность на изгиб (влажн.)	продольная ось N/mm^2	15-6	поперечная ось N/mm^2	0,50 -0,35

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАСЧЕТА СОСТАВНЫХ БАЛОК

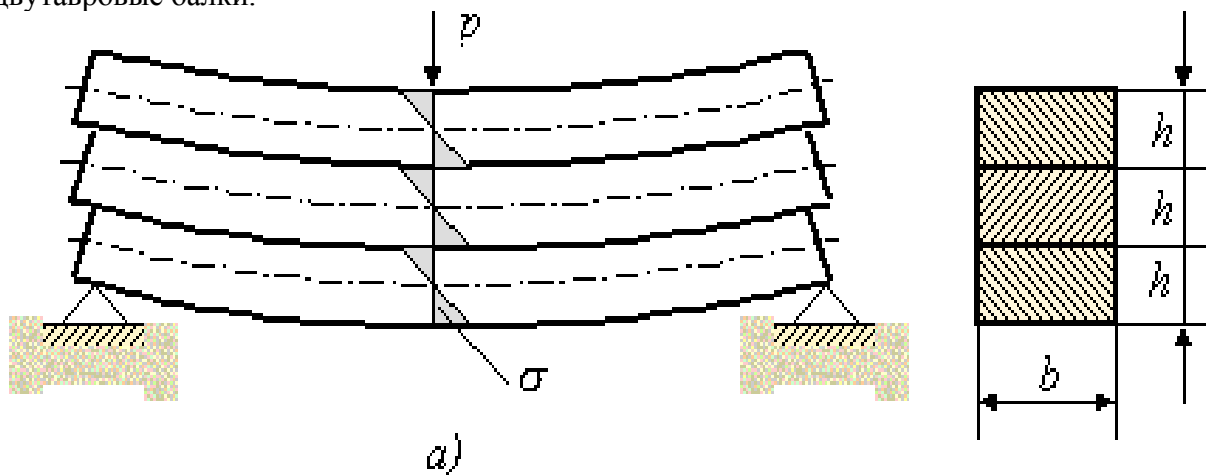
Работу составных балок проиллюстрируем на простом примере трехслойной балки прямоугольного поперечного сечения. Если слои между собой не связаны и силы трения между ними отсутствуют, то каждый из них деформируется как отдельная балка, имеющая свой нейтральный слой (рис. 4.а). Нагрузка между этими балками распределяется пропорционально их жесткостям при изгибе (в данном примере поровну). Это означает, что моменты инерции и моменты сопротивления трех независимо друг от друга деформирующихся балок должны быть просуммированы

$$J_x = 3 \frac{bh^3}{12} = \frac{bh^3}{4}, \quad W_x = 3 \frac{bh^2}{6} = \frac{bh^2}{2}.$$

Если скрепить балки сваркой, болтами или другим способом (рис. 1, б), то с точностью до пренебрежения податливостью наложенных связей сечение балки будет работать как монолитное с моментом инерции и моментом сопротивления, равным

$$J_x = \frac{b(3h)^3}{12} = 2,25bh^3, \quad W_x = \frac{b(3h)^2}{6} = 1,5bh^2.$$

Как видно, при переходе к монолитному сечению жесткость балки возрастает в девять раз, а прочность - в три раза. В инженерной практике наиболее распространены сварные двутавровые балки.



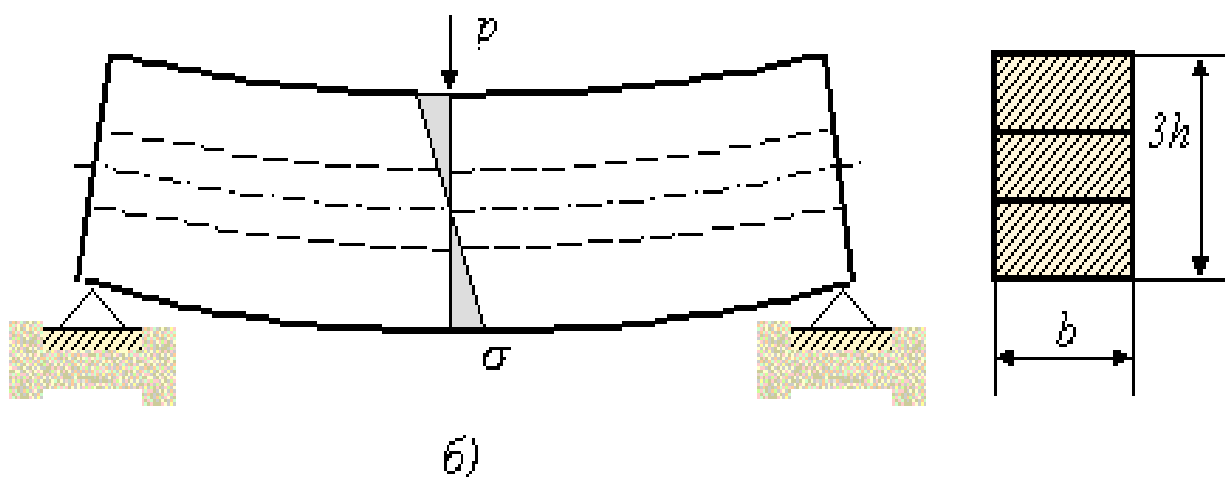


Рис.4. Расчетные схемы составных балок: а) несвязанная конструкция, б) связанная конструкция

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КЛЕЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ФАНЕРЫ С ДРЕВЕСИНОЙ

Расчет по первой группе предельных состояний. Расчет клеенных элементов из фанеры с древесиной следует выполнять по методу приведенного поперечного сечения.

Расчет на прочность поясов изгибаемых элементов двутаврового и коробчатого сечений с фанерными стенками следует производить по нижеприведенной формуле, принимая $W_{рас} = W_{пр}$, при этом напряжения в растянутом поясе не должны превышать R_p , а в сжатом - ϕR_c (ϕ -коэффициент продольного изгиба из плоскости изгиба).

Расчет изгибаемых элементов, обеспеченных от потери устойчивости плоской формы деформирования, на прочность по нормальным напряжениям производим по формуле

$$\frac{M}{W_{расч}} \leq R_u$$

где M - расчетный изгибающий момент;

R_u - расчетное сопротивление изгибу;

$W_{расч}$ - расчетный момент сопротивления поперечного сечения элемента.

Расчет изгибаемых элементов на прочность по скалыванию следует выполнять по формуле:

$$\frac{QS'_{бр}}{I_{бр} b_{расч}} \leq R_{ск}$$

где Q - расчетная поперечная сила;

$S'_{бр}$ - статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$I_{бр}$ - момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

$b_{рас}$ - расчетная ширина сечения элемента;

$R_{ск}$ - расчетное сопротивление скалыванию при изгибе.

При проверке стенки на срез по нейтральной оси в формуле значение $R_{ск}$ принимается равным $R_{ф.ср}$, а расчетная ширина $b_{рас}$

$$b_{рас} = \sum \delta_{ст},$$

где $\sum \delta_{ст}$ - суммарная толщина стенок.

При проверке скалывания по швам между поясами и стенкой в формуле $R_{ск} = R_{ф.ск}$, а расчетную ширину сечения следует принимать равной

$$b_{рас} = nh_n,$$

где h_n - высота поясов;

n - число вертикальных швов.

Расчет по второй группе предельных состояний. Прогибы и перемещения элементов конструкций не должны превышать предельных, установленных СНиП 2.01.07-85 и таблицей 16 СНиП II-25-80.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СОСТАВНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК

В лаборатории деревянных конструкций НАПКС были проведены испытания составных деревянных балок пролетом 2 метра следующего конструктивного решения:

- Клеефанерная балка с плоской стенкой вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины;
- Клеефанерная балка с плоской стенкой с поясами из деревянных брусков, приклеенных по бокам стенки;
- Клеефанерная балка с волнистой стенкой, вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины;
- Составная балка с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на шурупах.

Для данных составных деревянных балок были рассчитаны теоретические прогибы и максимальная несущая нагрузка с использованием существующей нормативной методики расчета, которая приведена выше.

Для данных составных деревянных балок по результатам испытаний были построены графики деформирования балок под нагрузкой.



а)



б)

Рис.5. Клеефанерная балка с плоской стенкой вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины в испытательном стенде.

а – главный вид; б – торец балки на опоре



а)



б)



в)

**Рис. 6. Клеефанерная балка с плоской стенкой с поясами из деревянных брусков, приклеенных по бокам стенки в испытательном стенде.
а – главный вид; б – торец балки на опоре; в – установка приборов на балке**



а)



б)

Рис. 7. Клеефанерная балка с волнистой стенкой вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины в испытательном стенде.

а – главный вид; б – торец балки на опоре



а)



б)

Рис. 8. Клеефанерная балка балка с волнистой стенкой вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины в испытательном стенде.

а – фрагмент балки с участком волны стенки;

б – установка приборов на балке



а)



б)



в)

**Рис. 9. Составная балка с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на шурупах в испытательном стенде.
а – главный вид; б – торец балки на опоре. в – установка приборов на балке**

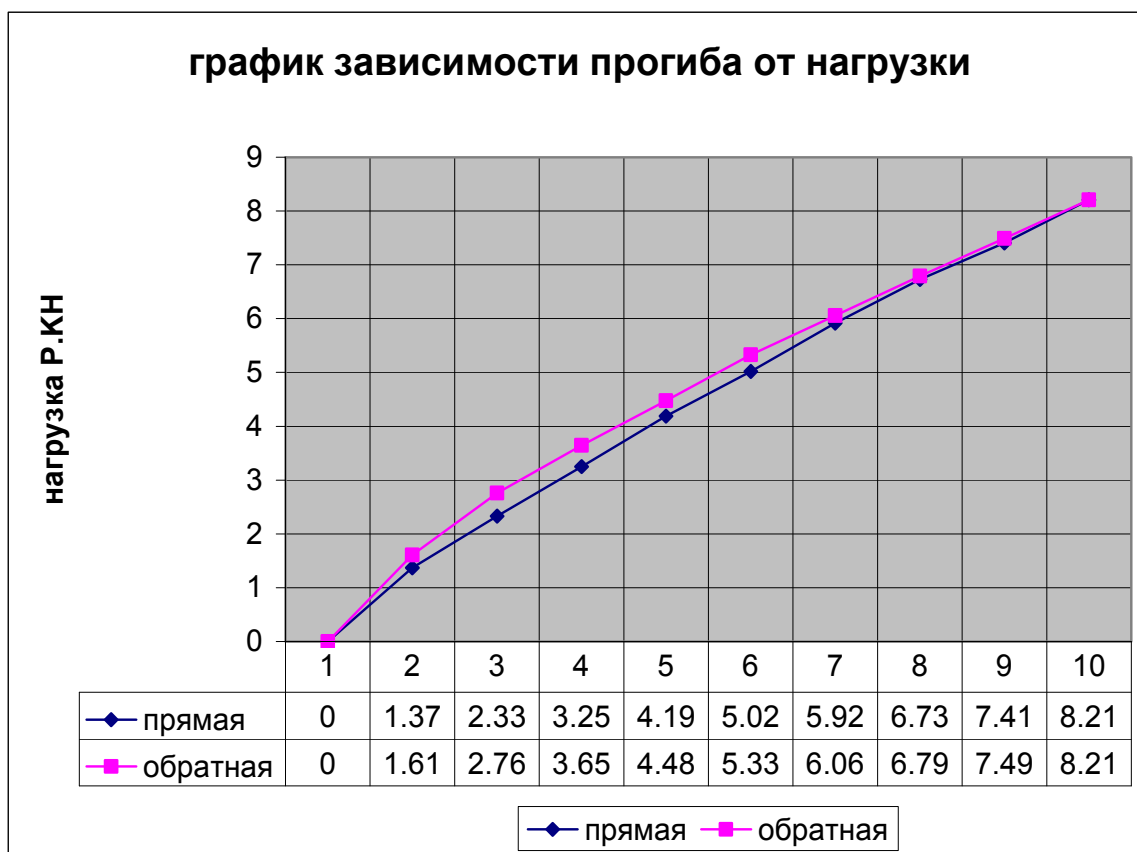


Рис.10. Клефанерная балка с плоской стенкой вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины

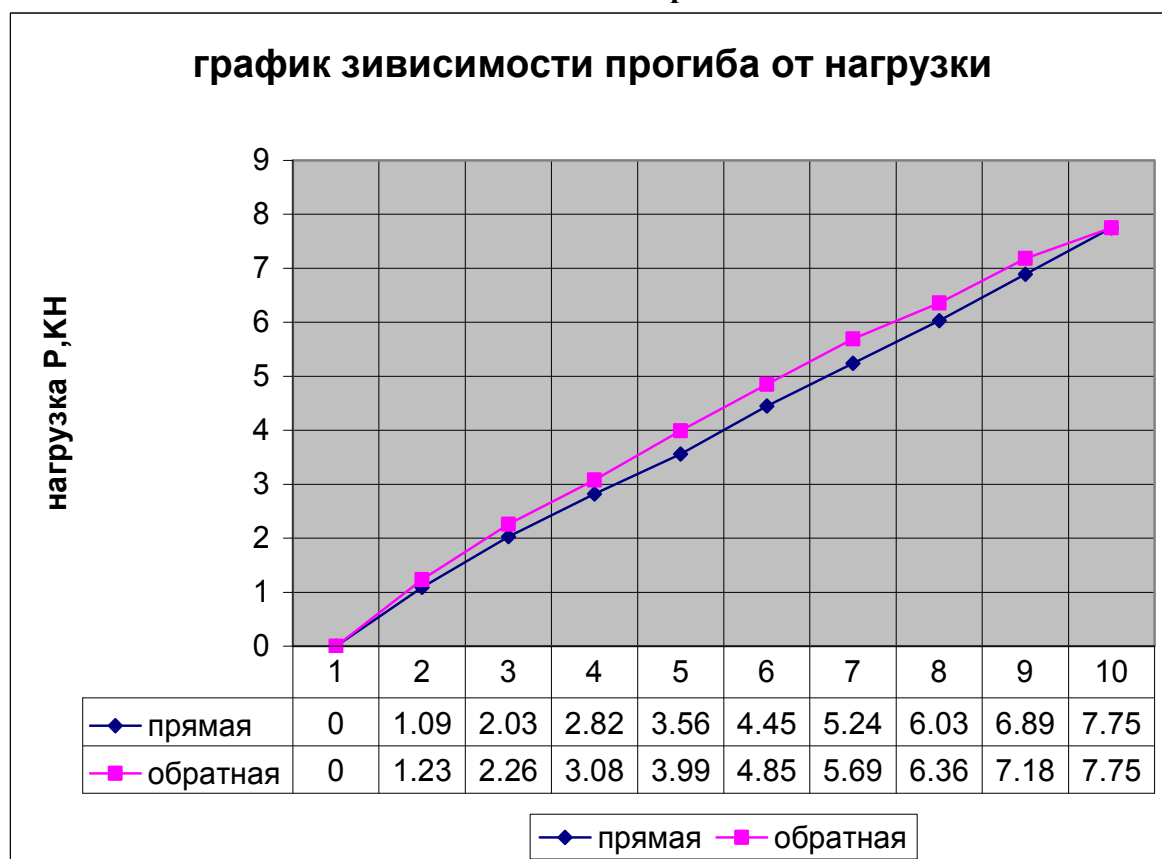


Рис.11. Клефанерная балка с волнистой стенкой, вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины

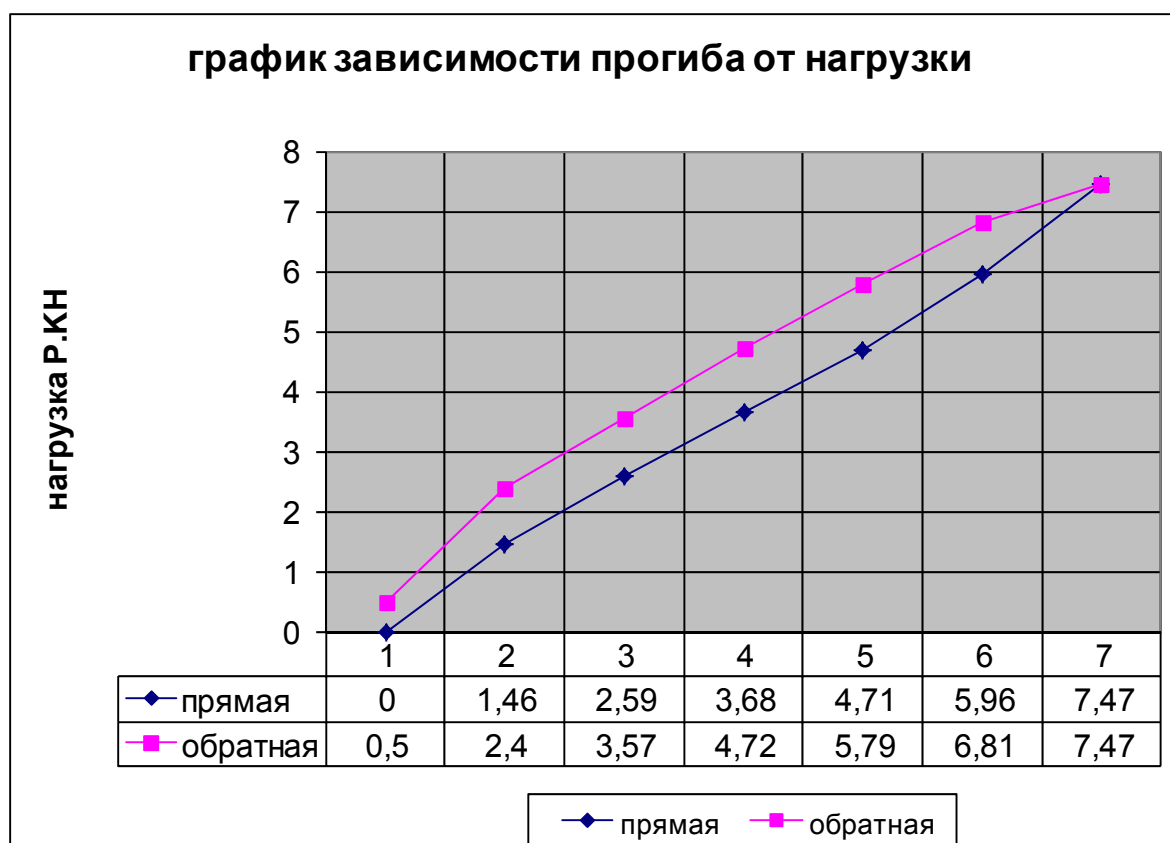


Рис.12. Клефанерная балка с плоской стенкой с поясами из деревянных брусков, приклеенных по бокам стенки

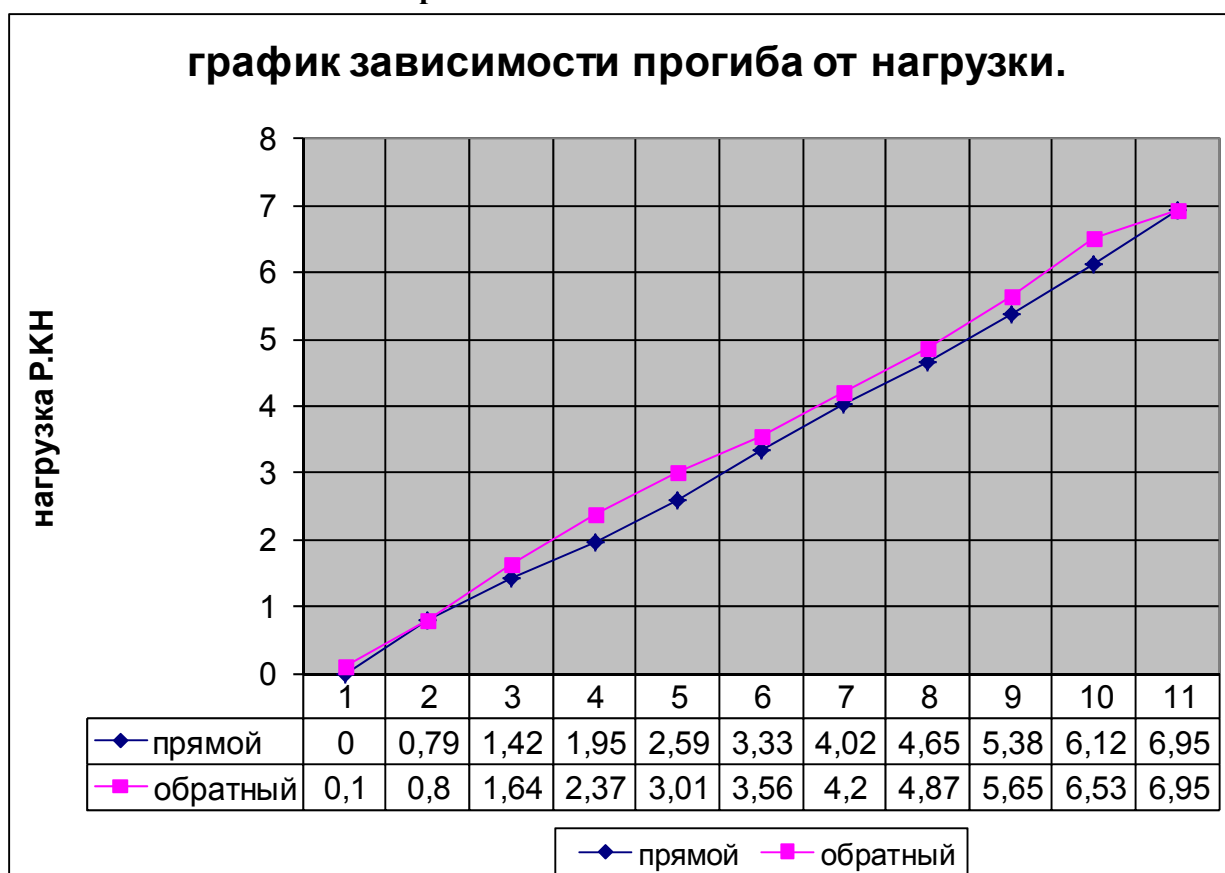


Рис.13. Составная балка с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на шурупах

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- наиболее жесткой из испытанных составных балок явилась составная балка с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на шурупах (максимальный прогиб составил – 6,95 мм при нагрузке 1000 кг), наименее жесткой – клефанерная балка с плоской стенкой с поясами из деревянных брусков, приклеенных по бокам стенки (максимальный прогиб составил – 7,47 мм при нагрузке 700 кг);
- наибольшие остаточные деформации при разгрузке получены в клефанерной балке с плоской стенкой с поясами из деревянных брусков, приклеенных по бокам стенки, наименьшие остаточные деформации при разгрузке получены в 2-х балках – в клефанерной балке с плоской стенкой вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины и в клефанерной балке с волнистой стенкой, вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины, что объясняется конструкцией полок.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СОСТАВНОЙ ДЕРЕВЯННОЙ БАЛКИ СО СТЕНКОЙ ИЗ OSB

Целью расчёта является следующее:

1. Определение перемещений узлов элементов составной балки с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB от внешних силовых факторов;
2. Выполнение расчётных сочетаний усилий (PCY);
3. Определение напряжений составной балки с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB от внешних силовых факторов.

Расчёт конструктивных элементов каркаса выполнен на программном комплексе «ЛИРА 9.4». ПК «ЛИРА» – это многофункциональный программный комплекс для расчета, исследования и проектирования конструкций различного назначения. Теоретической основой ПК «ЛИРА» является метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в форме перемещений.

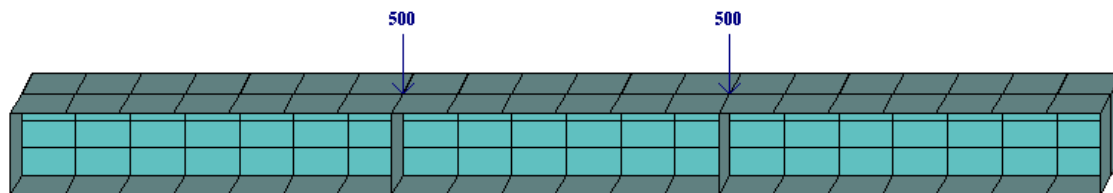
Расчёт выполнен в линейной постановке.

При выполнении расчёта были учтены следующие нагрузки:

Постоянные: собственный вес элементов составной балки с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на шурупах (собственный вес элементов каркаса при расчете ПК «Лира» учитывает при назначении сечений элементов автоматически).

Временные: технологические нагрузки – 1000 кг, с учетом передачи на балку в двух точках нагрузка составила 500 кг.

Расчетная модель составной балки с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на шурупах составлялась из пластинчатых элементов с жесткостными характеристиками соответствующими для поясов – дереву сосна 2-го сорта, для стенки – плита OSB. Размеры элементов расчётной модели приняты по осям конструктивных элементов.



Р

Рис. 14. Пространственная расчётная модель балки с технологической нагрузкой

Все нагрузки прикладываются в глобальной системе координат расчётной модели.

В качестве основных неизвестных приняты следующие перемещения узлов:

X – линейное по оси X; Y – линейное по оси Y; Z – линейное по оси Z

UX – угловое вокруг оси X; UY – угловое вокруг оси Y; UZ – угловое вокруг оси Z

В расчетную схему включены следующие типы элементов:

Тип конечного элемента - КЭ 41 – «Элемент оболочки».

Координаты узлов и нагрузки описаны в правой декартовой системе координат.

Таблица РСН

Расчетные сочетания нагрузок

СНИП2.01.07-85

N загруз.	Наименование	Вид	Знакоперем.	Взаимоискл.	Козф. надежн.	Доля длителън.	1
1	собвес	Постоянная(П)	+		1.1	1.0	1
2	технология	Длительная(Д)	+		1.2	1.0	1

Сочетания по СНИП 2.01.07-85

1 основное

$$\sum P + D + K + (K_r + T) + M$$

2 основное

$$\sum P + 0.95 \sum D + 0.9 \sum K + 0.9 \sum (K_r + T) + 0.9 \sum M$$

Особое

$$0.9 P + 0.8 \sum D + 0.5 \sum K + 0.5 \sum (K_r + T) + 0.5 \sum M + (C \wedge O_c)$$

Козфициенты

Расчет

Выход

Справка

Сочетания пользователя

Удалить сочетание

Удалить все сочетания

5. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.

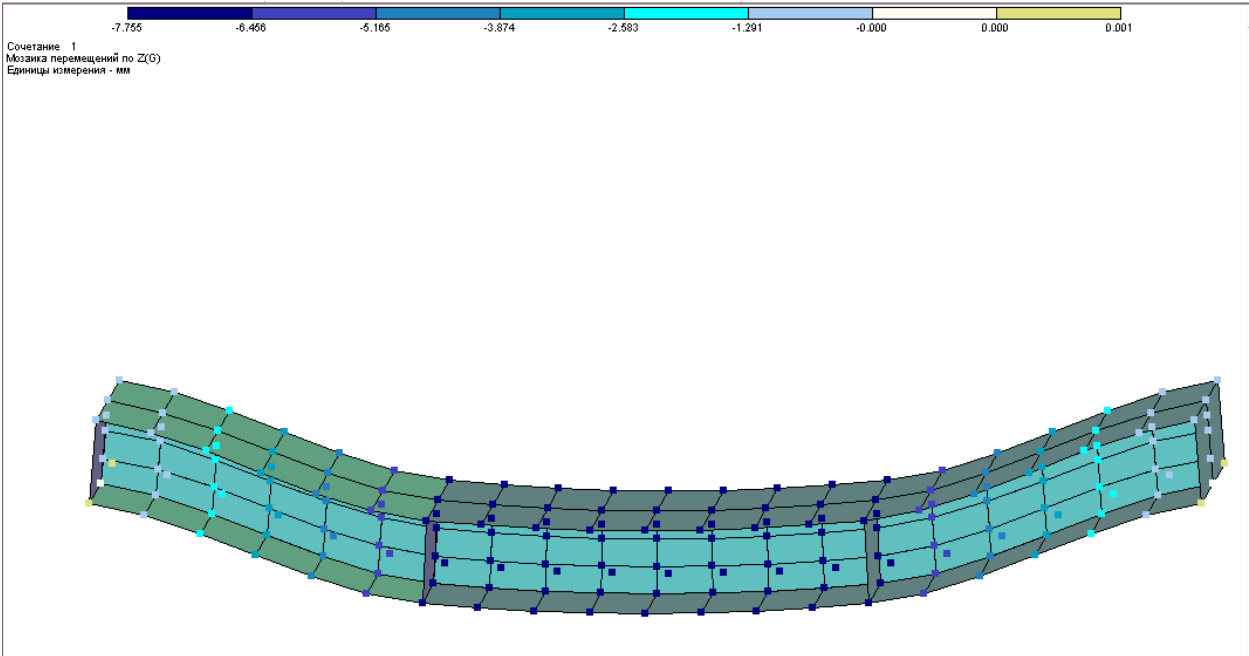


Рис. 15. Мозаика перемещений узлов по Z от РСН.

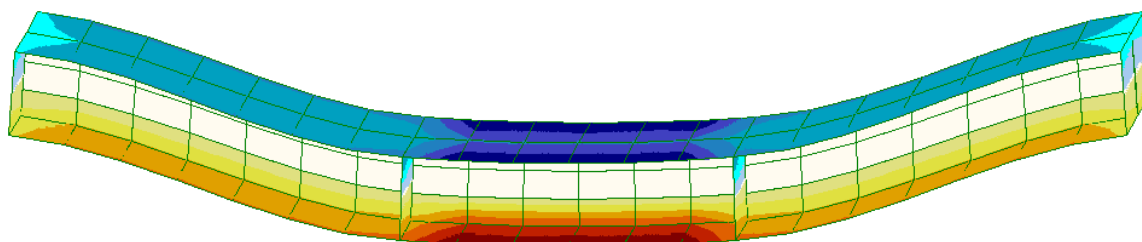


Рис. 16. Мозаика продольных напряжений в элементах составной балки с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB от РСН.

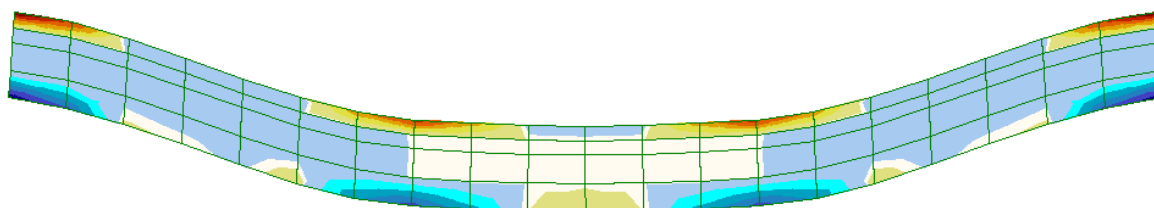
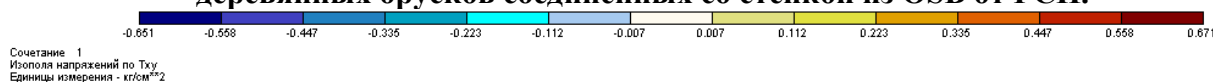


Рис. 17. Мозаика касательных напряжений в элементах стенки из OSB от РСН

На рис.15 представлена мозаика перемещений узлов соединения отдельных элементов балки между собой и максимальное значение при внешней нагрузке в 1000 кг составило 7,75 мм, что имеет достаточное сходство с результатами экспериментального исследования на аналогичную нагрузку – 6,95 мм. Расхождение результатов составило 10%.

На рис. 16 изображено распределение продольных напряжений в элементах составной балки с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB от РСН, на которой видна зона растягивающих и сжимающих напряжений в поясах балки. Уровень напряжений в элементах модели близок с напряжениями, рассчитанными для данной балки по существующим теориям расчета изгибаемых элементов. Расхождение результатов составило порядка 30%. Уровень расхождений говорит о

необходимости проведения дополнительных исследований, в том числе экспериментальных с определением напряжений в элементах балки.

ВЫВОДЫ

1. Проведены экспериментальные исследования составных балок следующего конструктивного решения: клефанерная балка с плоской стенкой вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины; клефанерная балка с плоской стенкой с поясами из деревянных брусков, приклеенных по бокам стенки; клефанерная балка с волнистой стенкой, вклеенной в паз осуществленный в полках из цельной древесины; составная балка с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на шурупах. Построены графики деформирования балок под нагрузкой.

2. Разработана компьютерная модель составной балки с поясами из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB на основе МКЭ, позволяющая получать пространственное распределение напряжений в элементах составной балки при различных способах нагружения.

3. Проведен сопоставительный анализ результатов исследований. Полученные распределения продольных и касательных напряжений в элементах составной балки из деревянных брусков соединенных со стенкой из OSB подтверждаются положениями, заложенными в основу расчета составных балок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. М.: Стройиздат 1996.
2. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. - М.: Стройиздат, 1986.
3. Конструкции из дерева и пластмасс. Учебное пособие для вузов/ Под редакцией проф. Иванова В.А. –К: В. Школа, 1981-392 с.
4. ДБН В.1.2-2:2006 Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. / Минстрой Украины.- К 2006.
5. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, 1990.
6. СНиП III-18-75. Металлические конструкции. Правила производства и приемки работ. -М.: Стройиздат, 1979.
7. Беленя Е.И., Балдин В.А., Ведеников Г.С. Металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
8. Бондин В.Ф., Бойтемиров Ф.А. Расчет прочности на выдергивание стальных стержней, вклеенных в древесину // Изв. вузов. Сер. Стр-во и архитектура. – 1974. - №7. – С. 32-37.
9. Бондин В.Ф., Вылегжанин Ю.Б. О прочности на сдвиг клеевых соединений стальных стержней с древесиной //Изв. вузов. Сер. Стр-во и архитектура. – 1976. - №11. – С. 20-24.
10. Воронович А.П. Устойчивость обшивки с заполнителем при сжатии и сдвиге: Дис... канд.техн.наук: 01.02.03. - М., 1958. – 220 с.

УДК 669.017

ВНУТРЕННЕЕ РАЗРУШЕНИЕ МЕТАЛЛА НАГРУЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Стрижаков К.П., научный руководитель Корохов В.Г., к.т.н., профессор

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Прочностные расчеты не во всех случаях позволяют гарантировать долговременную прочностную надежность конструкций, предназначенных для сложных условий их эксплуатации.