

УДК 624.073

## ДЕРЕВОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

**Г.О. Ципан**

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
г. Новополоцк, Республика Беларусь  
e-mail: [tsipan.grisha@bk.ru](mailto:tsipan.grisha@bk.ru)

*В данной работе рассмотрены преимущества сборных деревожелезобетонных плит, а также различные типы деревянных перекрытий. Предпринята попытка применения деформационного метода для расчета сопротивления изгибу деревянного ребристого перекрытия с монолитной железобетонной плитой.*

**Ключевые слова:** древесина, бетон, деревожелезобетонные плиты, деформационный метод.

## STRUCTURES MADE OF WOOD AND REINFORCED CONCRETE

**G. Tsipan**

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Belarus  
e-mail: [tsipan.grisha@bk.ru](mailto:tsipan.grisha@bk.ru)

*In this paper, the advantages of prefabricated reinforced concrete slabs, as well as various types of wooden floors, are considered. An attempt has been made to apply the deformation method to calculate the bending resistance of a wooden ribbed floor with a monolithic reinforced concrete slab.*

**Keywords:** wood, concrete, reinforced concrete slabs, deformation method.

**Введение.** Строительная область не стоит на месте и постоянно совершенствуется. Актуально создание новых уютных и экологически чистых зданий из таких же материалов. Материалом, отвечающим таким требованиям, является древесина.

В последние годы в строительной отрасли наблюдается растущий интерес к деревобетонным композитным конструкциям, которые объединяют уникальные свойства дерева и бетона. Эти материалы, проверенные временем, предлагают множество преимуществ, включая высокую прочность, хорошую звукоизоляцию и гибкость в планировке.

Применение древесины и бетона сочетает в себе свойства двух универсальных строительных материалов, проверенных веками. Благодаря хорошим строительным физическим свойствам дерева и бетона, а также их взаимная совместная работа в единой конструкции, деревобетонное композитное строительство становится все более популярным. Современные концепции жилья предъявляют высочайшие требования к качеству материалов и приятному микроклимату в помещении, с одной стороны, и гибкости планировки, указанной проектировщиком, с другой. Деревянные перекрытия набирают всё больше популярность, так как могут перекрывать пролеты от 5 до 6 метров. Минус данных конструкций по экономическим причинам: слишком большая толщина перекрытия для необходимого пролета и высокая стоимость [1].

Такие плиты используются в основном при реконструкции зданий, однако их можно использовать и при новом строительстве. Основные преимущества: малый вес, хорошая огне-

стойкость, отличная звукоизоляция, низкая восприимчивость к вибрации, возможность размещения коммуникаций, возможность перекрывать пролеты до 6 м.

Известны следующие виды плит из древесины: дерево-железобетонные перекрытия, плиты с использованием перекрестно-клееной древесины, плиты из массива древесины, древесно-каркасные плиты. Но особенно перспективными являются деревожелезобетонные.

Деревожелезобетонная плита – это плита, в которой деревянные балки или плоские деревянные элементы соединяются с монолитным железобетоном с помощью специальных соединителей, которые работают на срез. Степень соединения балок и плиты зависит от шага и количества рядов нагелей. Эти сдвиговые соединители, действующие в составном сечении, предназначены для уменьшения или, в идеале, для полного предотвращения сдвиговых деформаций.

Деревожелезобетонные перекрытия являются экологически чистыми и энергоэффективными, что делает их особенно привлекательными для использования в современном строительстве. Современная строительная отрасль Республики Беларусь имеет немало видов плит, но эта является очень перспективной, благодаря ряду преимуществ.

Проблема плохой звукоизоляции квартир остается актуальной в современных городах. Одним из ключевых преимуществ деревожелезобетонных плит является их отличная звукоизоляция. Наличие воздушных прослоек в конструкции позволяет значительно снизить уровень шума, что особенно актуально для современных городских условий. Для улучшения звукоизоляции также можно применять фальшполы, что делает такие конструкции еще более эффективными [2].

Немаловажную роль играет, что современные плиты перекрытий с высокой степенью заводской сборки могут быть спроектированы с учетом размещения коммуникаций внутри них. Это особенно важно для многоэтажных зданий, где необходимо учесть необходимость прокладки трубопроводов, кабелей и вентиляционных систем. Размещение коммуникаций внутри плит не только экономит пространство, но и обеспечивает защиту от внешних воздействий, а также способствует более эстетичному внешнему виду помещений.

Применение такого метода перекрытий сопряжено с рядом сложностей, среди которых немаловажное место занимает отсутствие методики расчета дерево-железобетонных перекрытий, что и явилось целью данного исследования.

**Экспериментальная часть.** Знакомство с историей исследования деревянных и деревожелезобетонных перекрытий [3-5] позволяет выявить ряд важных факторов:

- совместная работа бетона и древесины в достаточной мере может быть обеспечена устройством стальных нагелей (гвозди, штыри, обрезки арматуры, а также специально разработанные анкеры) практически до достижения предельного состояния по несущей способности;
- закономерности развития деформаций в комплексной конструкции соответствуют гипотезе Бернулли более известной как гипотеза плоских сечений (рисунок 1).

Указанные факторы соответствуют условиям применения деформационного метода расчета нормальных сечений, основанного на совместном применении:

- уравнений равновесия внутренних усилий в нормальном (поперечном) сечении;
- использовании предпосылки в виде гипотезы плоского сечения, касающейся распределения относительных деформаций в пределах нормального сечения во высоте сечения;
- аппроксимаций диаграмм деформирования древесины, бетона и арматуры для каждого элементарного слоя, определяющих связь между напряжениями и деформациями.

В результате можно получить систему разрешающих уравнений, учитывающую включение в работу в работу бетона после частичной загрузки деревянной несущей балки:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \sum_k E'_w A_w \varepsilon_w + \sum_m E'_{c,ad} A_{c,ad} \varepsilon_{c,ad} + \sum_i E'_{s,ad} A_{s,ad} \varepsilon_{s,ad} = 0; \\
 \sum_n E'_w A_w \varepsilon_w (y_w - y_{0,ad}) + \sum_m E'_{c,ad} A_{c,ad} \varepsilon_{c,ad} (y_{c,ad} - y_{0,ad}) + \\
 + \sum_i E'_{s,ad} A_{s,ad} \varepsilon_{s,ad} (y_{s,ad} - y_{0,ad}) - (M_y + M_{y,ad}) = 0; \\
 \varepsilon_w = \varepsilon_{w[1]} + \varepsilon_{w,ad}; \\
 \varepsilon_{w,ad} = \frac{1}{r_{y,ad}} (y_w - y_{0,ad}); \varepsilon_{c,ad} = \frac{1}{r_{y,ad}} (y_{c,ad} - y_{0,ad}); \\
 \varepsilon_{s,ad} = \frac{1}{r_{y,ad}} (y_s - y_{0,ad});
 \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $E'_w$  – текущее значение секущего модуля упругости для элементарных площадок древесины балки;

$A_w$  – площадь сечения элементарных площадок древесины балки;

$\varepsilon_{w,ad}$ ,  $\varepsilon_{c,ad}$ ,  $\varepsilon_{s,ad}$  – относительные деформации элементарных площадок древесины балки конструкции, бетона и арматуры железобетонной плиты от воздействий, приложенных после усиления;

$\varepsilon_{w[1]}$  – относительные деформации в элементарных площадках древесины балки;

$1/r_y$  – кривизна деревянной балки по направлению оси  $y$ ;

$y_w$  – расстояния от выбранной оси до центра тяжести элементарных площадок древесины балки в поперечном сечении;

$y_0$  – расстояния от выбранной оси до центра тяжести поперечного сечения деревянной балки;

$M_y$  – изгибающий момент в плоскости оси  $y$ , воспринимаемый конструкцией в расчетном поперечном сечении балки в момент времени включения в совместную работу дополнительных элементов бетона и арматуры плиты;

$M_{y,ad}$  – изгибающий момент в плоскости оси  $y$  от дополнительных воздействий на деревожелезобетонную конструкцию;

$E'_{c,ad}$ ,  $E'_{s,ad}$  – текущие значения секущих модулей упругости элементарных площадок бетона и арматуры железобетонной плиты соответственно;

$A_{c,ad}$ ,  $A_{s,ad}$  – площадь сечения бетона и арматуры элементарных площадок железобетонной плиты соответственно;

$\varepsilon_c$ ,  $\varepsilon_s$  – относительные деформации элементарных площадок бетона и арматуры железобетонной плиты от суммарных воздействий после усиления соответственно;

$1/r_{y,w}$  – кривизна усиливаемой конструкции от суммарных воздействий после усиления по оси  $y$ , при этом  $1/r_{y,w} = 1/r_y + 1/r_{y,ad}$ ;

$1/r_{y,ad}$  – кривизна деревянной балки и железобетонной плиты от воздействий после усиления по оси  $y$ ;

$y_{c,ad}$ ,  $y_{s,ad}$  – расстояние от выбранной оси до центра тяжести элементарных площадок соответственно бетона и арматуры железобетонной плиты после усиления;

$y_{0,ad}$  – расстояние от выбранной оси до центра тяжести поперечного сечения железобетонной плиты после усиления.

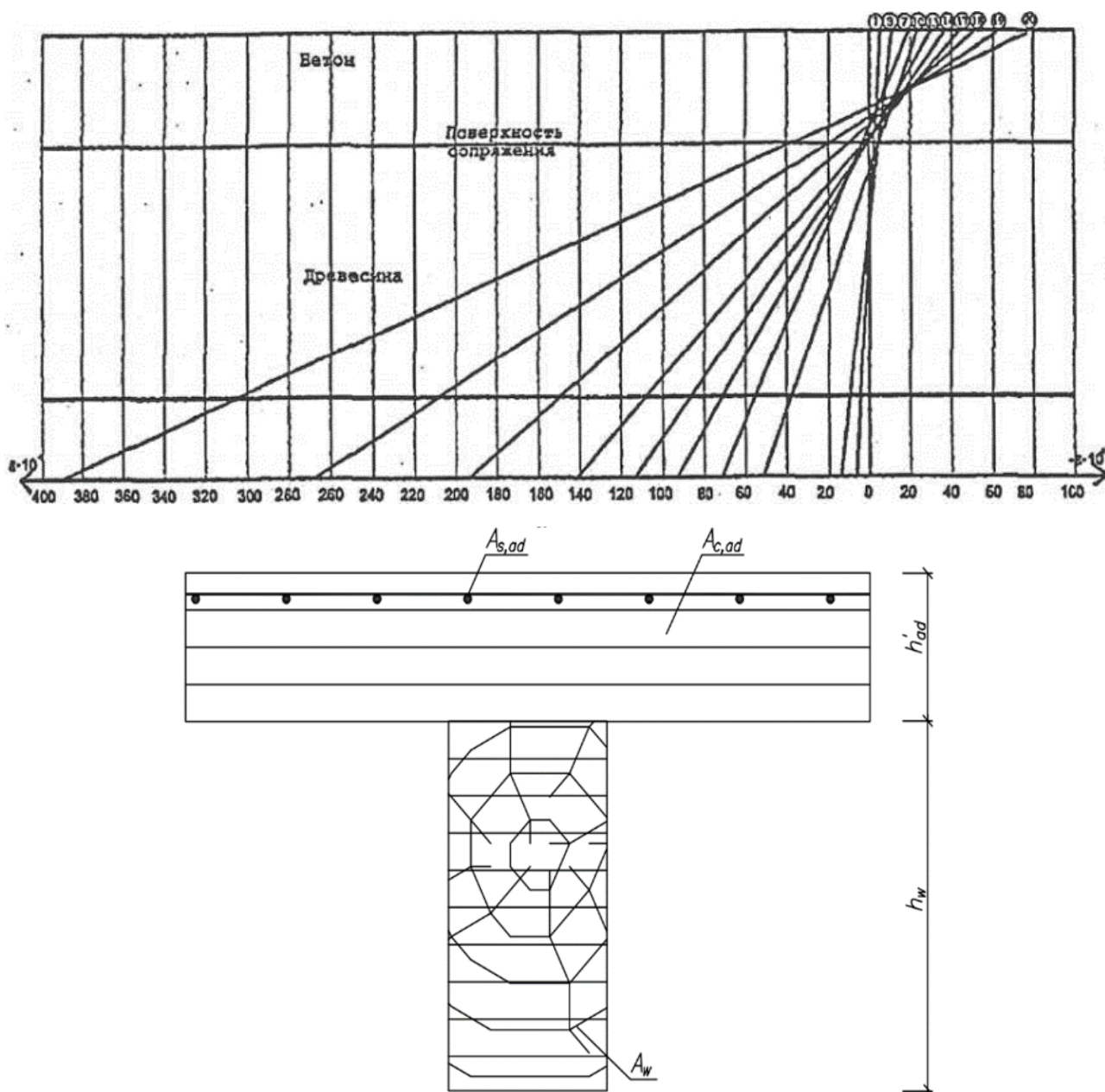


Рисунок 1. – Распределение деформаций по высоте поперечного сечения несущей балки фрагмента дерево-железобетонного перекрытия при разных уровнях нагружения в зоне максимального изгибающего момента

Решение системы (1) выполняется итерационным методом. Критерием разрушения служит достижение бетоном в сжатой зоне или древесиной в растянутой и сжатой зонах предельных значений деформаций.

На основании вышесказанного было предложено использовать программный комплекс Beta для анализа напряженно-деформированного состояния дерево-железобетонных перекрытий. Создание типового сечения перекрытия выполнялось выбором из наиболее типовых проектных решений. Так, в частности, неизменными принимались:

- шаг балок деревянного перекрытия может быть от 30 см до 1,2 м, но чаще всего он выбирается в пределах 0,6-1,0 м. Для создания сечения был выбран шаг деревянных балок 900мм;

– размеры поперечного сечения деревянной балки - брус  $b \times h = 175 \times 225$  мм [6];  
 – по деревянным балкам устроен настил из досок толщиной 35 мм. Он не участвует в работе сечения дерево-железобетонного перекрытия, служит своего рода опалубкой для железобетонной плиты, равномерно передает нагрузку от собственного веса бетонной стяжки и функциональной нагрузки на деревянные балки. В связи с вышесказанным сечение настила в общем сечении не создавалось.

Совместная работа железобетонной плиты и деревянной балки считается обеспеченной применением конструктивных мероприятий (устройством нагельных связей и т.п.). Варьируемым фактором принимался слой бетона, который для анализа был принят в трех вариантах: 50 мм (плита 1), 60 мм (плита 2) и 70 мм (плита 3). Арматурная сетка в бетоне принималась из стержневой арматуры диаметром 8 мм с ячейкой  $200 \times 200$  мм [7] на расстоянии 25 мм от наиболее сжатой грани сечения. Также был проверен свес полка в соответствии с [8].

Для анализа были приняты характеристики материалов согласно анализу возможных диаграммам деформирования древесины [9, 10], арматуры и бетона (рисунок 2). Далее был произведен расчёт и получены характер (причина) разрушения, сопротивление изгибу в предельной стадии по прочности, напряженно-деформированное сечение созданного сечения на всех этапах работы. Обладая такими данными, имеется возможность проводить оптимизационные расчеты по подбору наиболее рационального слоя бетона, проценту армирования, выполнять анализ проектируемых сечений, таблица 1. Примеры напряженно-деформированного состояния поперечных сечений в предельной стадии по прочности (рисунок 3).

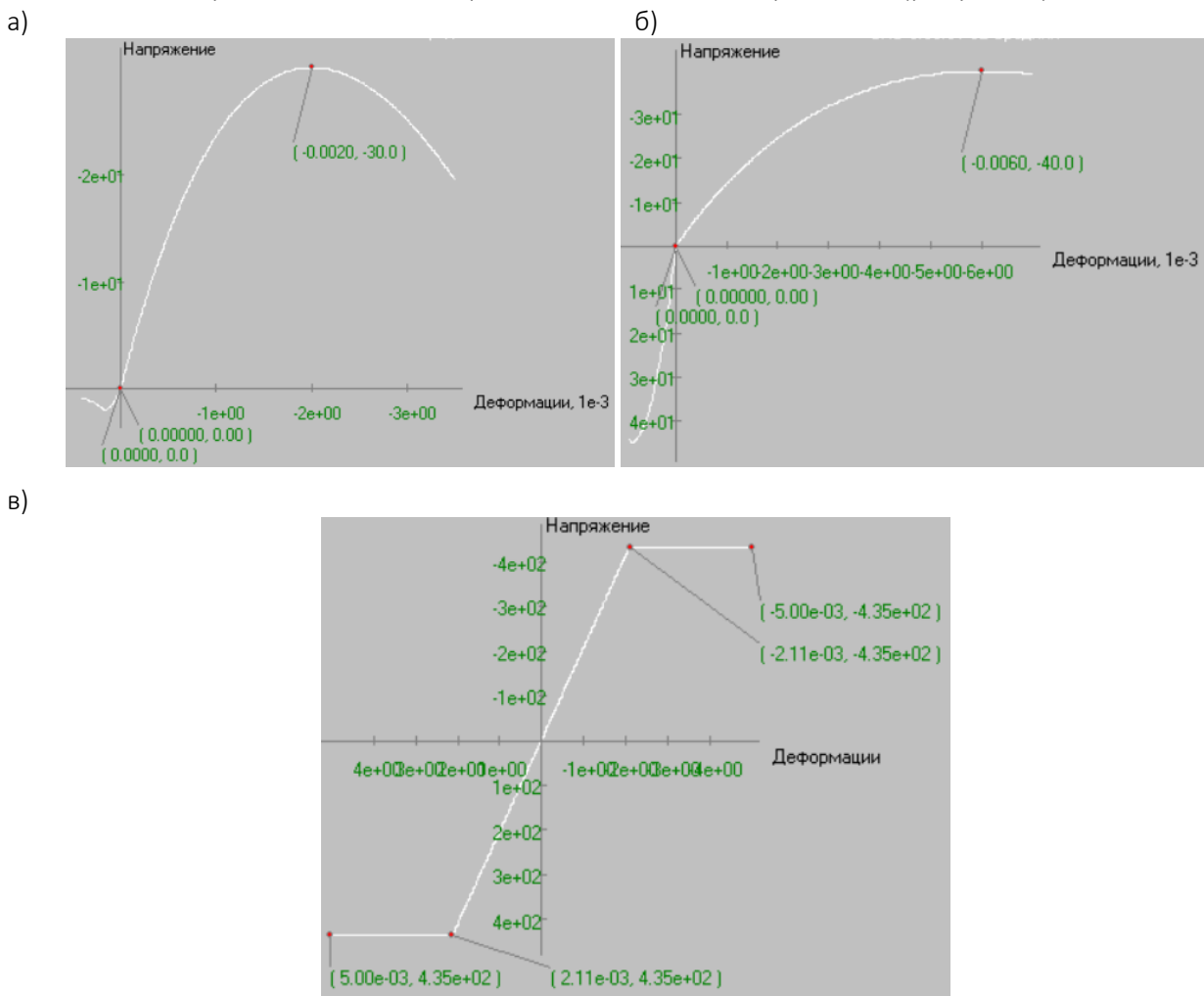


Рисунок 2. – Диаграммы деформирования бетона (а), древесины (б), арматуры (в)

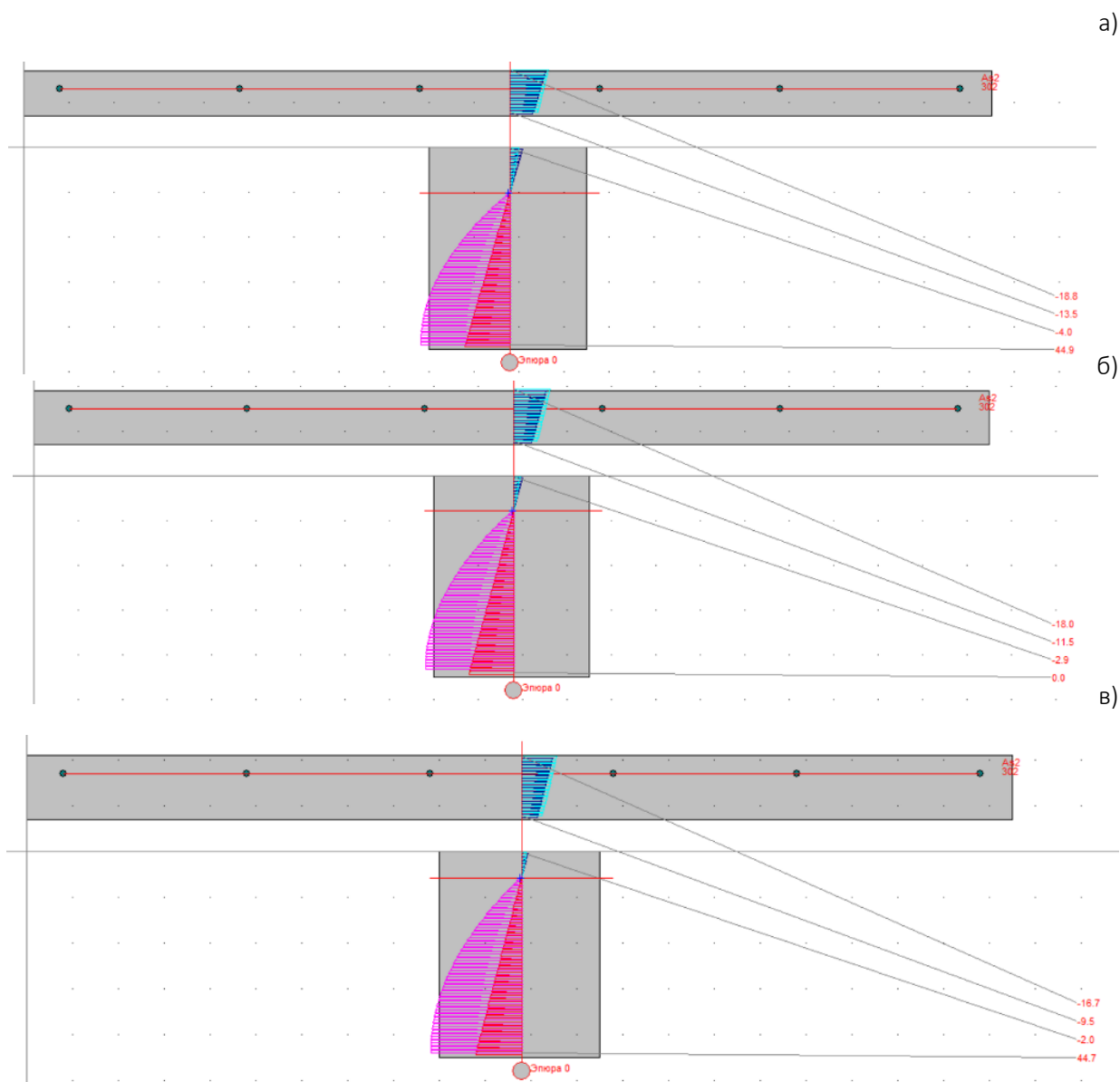


Рисунок 3. – Поперечное сечение деревобетонной плиты с толщиной бетона 50 мм (а) с толщиной бетона 60 мм (б) с толщиной бетона 70мм (в)

Таблица 1. – Результаты расчета дерево-железобетонного перекрытия (ширина 0,9м)

Сечение	Балка, b×h (мм)	Слой бетона, мм	Вес 1 м <sup>2</sup> перекрытия, кг	Соппротивление изгибу M <sub>RD</sub> , кНм	Причина разрушения
Плита 1	175x225	50	145,5	201,8	Деформации на растяжение в древесине достигли своих предельных значений
Плита 2	175x225	60	170,5	220,1	
Плита 3	175x225	70	195,5	232,91	

**Заключение.** Деревожелезобетонные плиты представляют собой инновационное и перспективное решение в современном строительстве, предлагая множество преимуществ, таких как малый вес, огнестойкость и отличная звукоизоляция. Их использование не только при реконструкции, но и в новом строительстве зданий подчеркивает универсальность данного материала и его приспособление к различным условиям. Важно продолжать проводить испытания и разработки, чтобы максимально использовать потенциал деревожелезобетонных

плит, что в конечном итоге приведет к более устойчивому и энергоэффективному строительству в будущем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Elascop [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elascop.de/holz-beton-verbund>. – Дата доступа: 01.11.2024.
2. Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.proholz.at/fileadmin/flippingbooks/zuschnitt54/files/assets/common/downloads/publication.pdf>. – Дата доступа: 05.10.2024.
3. Абдрахманов, И.С. Прочность и деформативность деревожелезобетонных изгибаемых элементов при статических и повторных нагрузениях : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01/ И.С. Абдрахманов. ГОУ ВПО Казанский гос. арх. - строит. ун-т. – М.,2009.- 43с.
4. Коченов В.М. Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций / В.М. Коченов.- М.: Стройиздат, 1953.- 320 с.
5. Дыбенко Г.И. Предельное состояние деревянной балки при изгибе со сжатием / Г.И. Дыбенко // Сб. науч. тр. Киевского ИСИ, 1959. -Вып.12.- С.33-44.
6. СП 5.05.01-2021. Деревянные конструкции – Введ. 31.03.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2023. – 26-27 с.
7. Армирование стяжки пола сеткой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://polvam.ru/armirovanie-stjazhki-pola-setkoj-po-snip-osnovnye/>.– Дата доступа: 11.11.2024.
8. СП 5.03.01-2020. Бетонные и железобетонные конструкции – Введ. 16.09.2020 – Минск: Минстройархитектуры, 2023.
9. Вареник, К. А. Аппроксимация диаграммы деформирования древесины / К. А. Вареник // Вестник Новгородского государственного университета. – 2013. – № 75-1. – С. 60-64. – EDN SBMZXР.
- 10.Немировский, Ю. В. Сложный изгиб гибридных деревянных брусьев / Ю. В. Немировский, А. И. Болтаев // Теоретическая и прикладная механика : международный научно-технический сборник / пред. редкол. А. В. Чигарев. – Вып. 33. – 2018. – С. 36-55.