

УСТОЙЧИВОСТЬ СОСТАВНЫХ ДЕРЕВОКОМПОЗИТНЫХ ПАНЕЛЕЙ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

ПОПОВ Е.В.¹, КАРЕЛЬСКИЙ А.В.¹, РУСЛanova А.В.¹, СТОЛЫПИН Д.А.¹,
ЛАБУДИН Б.В.¹, МЕЛЕХОВ В.И.¹, ТОРОПОВ А.С.²

¹Северный (Арктический) Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия

²Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар–Ола, Россия

Аннотация. Древесина находит все большее применение в жилищном строительстве в России и мировой практике. Особый интерес представляет модульное домостроение, при котором большая часть работ по изготовлению конструкций, отделке, инженерного оборудования выполняется на заводе–изготовителе. В основном высота таких зданий ограничивается 2...3 этажами, реже – до 5 этажей. Однако зарубежный опыт показывает, что этажность таких домов может быть повышенена до 7–ми этажей. Конструкции на деревянном каркасе могут соответствовать 3–й степени огнестойкости и классу пожарной опасности C0. В России при этих показателях допускается строить здания высотой до 5–ти этажей с разделением их на пожарные отсеки. Определяющим фактором этажности таких домов является прочность и устойчивость основных несущих элементов деревянного каркаса. Как показывают исследования, добиться значительного увеличения прочности и устойчивости деревянных стоек каркаса можно включением в работу обшивок, в том числе за счет применения сдвигостойких механических связей. В работе приводится методика и результаты исследования критической силы для деревянных ребер, работающих в составе стеновых панелей или объемных модулей совместно с обшивками. Для реализации поставленной задачи используется теория составных стержней А.Р. Ржаницына.

Ключевые слова: модульное домостроение, деревянный каркас, механические соединения, прочность, устойчивость, жесткость, податливость.

STABILITY OF WOOD-COMPOSITE PANELS WITH VARIABLE PARAMETERS OF MECHANICAL CONNECTORS

POPOV E.V.¹, KARELSKY A.V.¹, RUSLANOVA A.V.¹, STOLYPIN D.A.¹,
LABUDIN B.V.¹, MELEKHOV V.I.¹, TOROPOV A.S.²

¹Northern (Arctic) Federal University n.a. M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

²Volga State University of Technology, Yoshkar–Ola, Russia

Abstracts. Employment of wood in housing construction constantly increases. Special interest is observed in modulus housing, in which the most part of construction production, finishing and engineering equipment is performed on factory. Basically, the height of such buildings is limited to 2...3 floors, but sometimes can be up to 5 floors. Foreign experience shows that the number of storeys of such houses can be increased to 7 floors. Structures on a wooden frame can be corresponded to the third degree of fire resistance and C0 fire class. These indicators allowes to build buildings up to 5 floors in height in Russia with their division into fire compartments. The determining factor of number of floors in frame houses is strength and stability of main bearing elements of wooden frame. Significant increase of strength and stability of the wooden racks of the frame achieving with including claddings by shear-resistant mechanical connectors using is shows in studies. The article presents the methodology and results of the study of the critical force for wood ribs, working with claddings in wall panels or bulk modules. To accomplish the task, the composite rods theory of A.R. Rzhanitsyn is used.

Keywords: modulus housing, wooden frame, mechanical connectiors, strength, stability, stiffness, compliance.

Введение

Развитие базы материалов и конструкций на основе древесины обусловило не только техническую возможность, но и экономическую целесообразность применения в зданиях и сооружениях различного назначения ребристых панелей стен и объемных модулей [1–10]. Наиболее ярко преимущества таких панелей (рисунок 1) проявляются при совмещении ими несущих и ограждающих функций, когда основные продольные ребра выполняют роль стоек, а обшивки выполняют роль ограждений.

Повысить несущую способность стоек возможно за счет эффективного вовлечения в работу панели обшивок, для чего традиционно применяется жесткое kleевое соединение на границе «ребро–обшивка» [11, 12, 13]. В то же время, применение kleевых соединений ощутимо усложняет технологический процесс производства стеновых панелей, что противоречит основной идеи применения таких конструкций – простоте и низкой себестоимости производства. Ряд проведенных экспериментально–теоретических исследований [14, 15] показал целесообразность учета обшивки при креплении её к ребрам с использованием податливых механических связей. В качестве механических связей используются гвозди, винты, скобы или комбинированные соединения на основе когтевых шайб [14, 15–18].

Однако в представленных работах рассматриваются преимущественно изгибающие панели, и вопрос влияния податливости связей на прочность и устойчивость сжатых стоек требует проведения дополнительных исследований.

Модели и методы

При инженерном расчете ребристых панелей на деревянном каркасе допускается рассматривать приведенные тавровые или двутавровые сечения, где обшивки выступают в роли полок. Нормальные напряжения, направленные вдоль оси панели, возникающие в полках, будут иметь наибольшее значение у ребер и уменьшаться по мере удаления от них. В середине обшивки напряжения будут иметь минимальные значения. Поэтому в расчет следует вводить не фактическую, а уменьшенную приведенную ширину обшивки (рисунок 2), которая определяется с учетом того, чтобы значения наибольших продольных напряжений для фактического и приведенного сечения оказались равными [19].

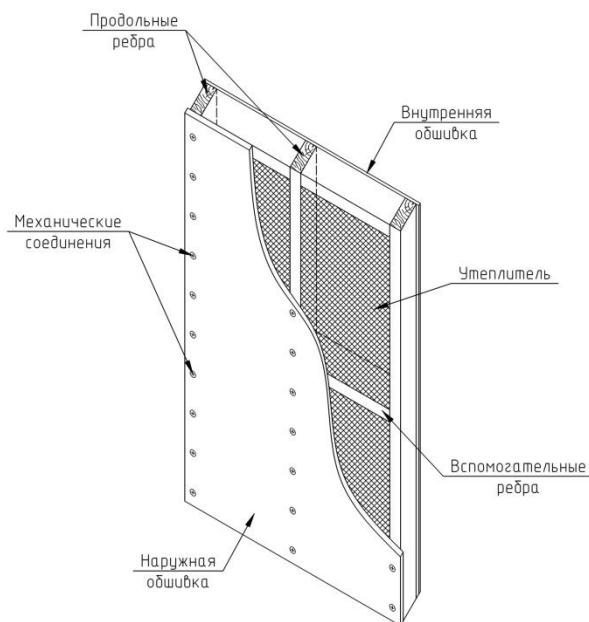


Рисунок 1 – Ребристая деревокомпозитная стеновая панель

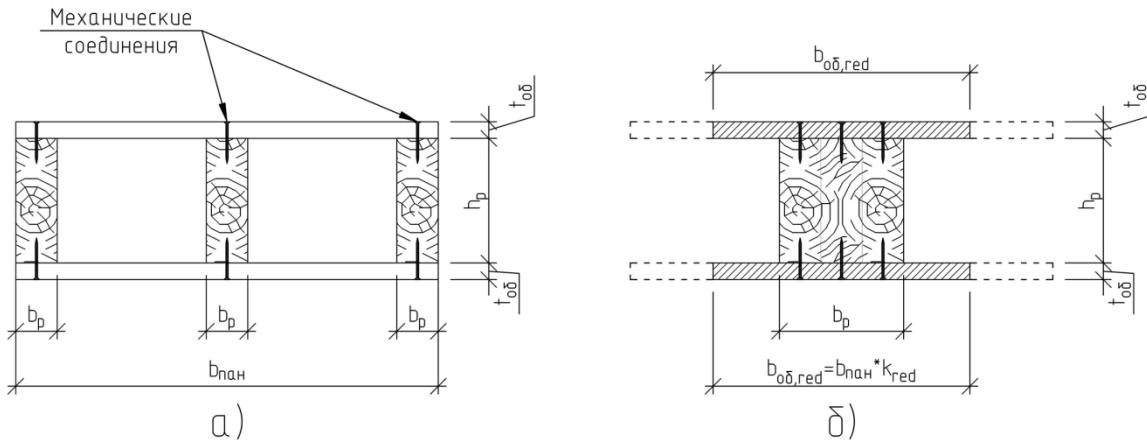


Рисунок 2 – Схема расчетного приведенного сечения панели:
а – фактическое поперечное сечение; б – расчетное сечение

Согласно норм [20] возможность потери устойчивости при расчете центрально-сжатых стержней учитывается введением коэффициента продольного изгиба, из условия:

$$\frac{N}{F_{pac} \cdot \varphi} \leq R_c, \quad (1)$$

где F – расчетная площадь поперечного сечения; φ – коэффициент продольного изгиба, определяемый по формуле:

$$\varphi = \frac{\sigma_{kp}}{R_c}, \quad (2)$$

где σ_{kp} – значение сжимающих напряжений, соответствующих потере устойчивости (критической силе N_{kp}).

Для определения коэффициента продольного изгиба необходимо определить долю нагрузки, приходящуюся на стойку при действии критической силы N_{kp} . Запишем систему уравнений трехслойного составного элемента [21, 22]:

$$\begin{cases} \frac{T''}{\xi_1} = \Delta_{11}T_1 + \Delta_{12}T_2 + \Delta_{10}, \\ \frac{T''}{\xi_2} = \Delta_{21}T_1 + \Delta_{22}T_2 + \Delta_{20} \end{cases}, \quad (3)$$

где T_i – усилия в швах составного стержня,

Δ_{ij} , Δ_{iy} – коэффициенты при неизвестных;

Δ_{i0} – свободные члены;

ξ_i – коэффициент жесткости связей сдвига в i -ом шве, определяемые по формуле (12).

$$\Delta_{11} = \frac{1}{E_1 \cdot A_1} + \frac{1}{E_2 \cdot A_2} + \frac{c_1^2}{\Sigma EI}; \quad \Delta_{22} = \frac{1}{E_2 \cdot A_2} + \frac{c_2^2}{\Sigma EI}; \quad \Delta_{12} = \Delta_{21} = \frac{-1}{E_2 \cdot A_2} + \frac{c_1 c_2}{\Sigma EI}; \quad (4)$$

$$\Delta_{10} = \frac{-N_1^0}{E_1 \cdot A_1} + \frac{N_2^0}{E_2 \cdot A_2} + \frac{M^0 \cdot c_1}{\Sigma EI}, \quad \Delta_{20} = \frac{-N_2^0}{E_2 \cdot A_2} + \frac{N_3^0}{E_3 \cdot A_3} + \frac{M^0 \cdot c_2}{\Sigma EI}, \quad (5)$$

где E_1, A_1, E_3, A_3 – модуль упругости и площадь сечения наружной и внутренней обшивок соответственно; E_2, A_2 – то же, ребра; c_1, c_2 – расстояние от центра тяжести наружной/внутренней обшивки до ц.т. ребра соответственно; N_i^0 – продольная нагрузка на i -ый элемент; M^0 – суммарный изгибающий момент от внешней нагрузки; ΣEI – изгибная жесткость стержня с нулевой жесткостью шовов сдвига.

Так как рассматриваем случай центрального сжатия и учитываем приложение внешней нагрузки на стойку с перераспределением её на обшивки только за счет работы механических связей, в дальнейших расчетах полагаем, что $M^0 = N^0_1 = N^0_3 = 0$.

Система уравнений (3) может быть представлена двумя независимыми уравнениями для обобщенных неизвестных усилий в швах $\bar{T}_{1,2}$:

$$\ddot{\bar{T}}_1 = \lambda_1^2 \bar{T}_1 + \bar{R}_1; \quad \ddot{\bar{T}}_2 = \lambda_2^2 \bar{T}_2 + \bar{R}_2, \quad (6)$$

где $\bar{R}_{1,2}$ – обобщенные нагрузочные члены, определяемые выражениями (7);

$\lambda_{1,2}$ – характеристические числа, определяемые по (8).

$$\bar{R}_1 = \sqrt{\xi_1} \Delta_{10} \cos \varphi + \sqrt{\xi_2} \Delta_{20} \sin \varphi; \quad \bar{R}_2 = -\sqrt{\xi_1} \Delta_{10} \sin \varphi + \sqrt{\xi_2} \Delta_{20} \cos \varphi, \quad (7)$$

$$\lambda_{1,2} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\xi_1 \Delta_{11} + \xi_2 \Delta_{22} \pm \sqrt{(\xi_1 \Delta_{11} - \xi_2 \Delta_{22})^2 + 4 \Delta_{12}^2 \xi_1 \xi_2} \right)}. \quad (8)$$

Функции обобщенных неизвестных усилий в швах \bar{T}_1 и \bar{T}_2 имеют вид:

$$\begin{aligned} \bar{T}_1 &= A_1 \operatorname{sh}(\lambda_1 x) + B_1 \operatorname{ch}(\lambda_1 x) + \int_0^x R_1(t) \operatorname{sh}[\lambda_1 \cdot (x-t)] dt; \\ \bar{T}_2 &= A_2 \operatorname{sh}(\lambda_2 x) + B_2 \operatorname{ch}(\lambda_2 x) + \int_0^x R_2(t) \operatorname{sh}[\lambda_2 \cdot (x-t)] dt. \end{aligned} \quad (9)$$

Для перехода от функций \bar{T}_1 и \bar{T}_2 к сдвигающим усилиям $T_1(x)$ и $T_2(x)$ используем выражения:

$$T_1(x) = \sqrt{\xi_1} \cdot \cos \varphi \cdot \bar{T}_1 - \sqrt{\xi_1} \cdot \sin \varphi \cdot \bar{T}_2; \quad T_2(x) = \sqrt{\xi_2} \cdot \sin \varphi \cdot \bar{T}_1 + \sqrt{\xi_2} \cdot \cos \varphi \cdot \bar{T}_2. \quad (10)$$

Угол φ определяется по формуле:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{\lambda_1^2 - \xi \cdot \Delta_{11}}{\xi \cdot \Delta_{12}} \right). \quad (11)$$

Коэффициенты жесткости швов ξ_i определяются по формуле:

$$\xi_i = \frac{n \cdot c_{c,i}}{S_{c,i}}, \quad (12)$$

где $c_{c,i}$ – коэффициент жесткости соединений в i -том шве, определяемый экспериментально;

$S_{c,i}$ – шаг соединений; n – количество продольных ребер.

Подставляя выражения (4) и (12) в (6) и интегрируя правую часть выражений, получаем:

$$\bar{T}_1(x) = A_1 \operatorname{sh}(\lambda_1 x) + B_1 \operatorname{ch}(\lambda_1 x) - \left[\frac{(\sqrt{\xi_1} \cdot \Delta_{10} \cdot \cos \varphi + \sqrt{\xi_2} \cdot \Delta_{20} \cdot \sin \varphi) \cdot (\operatorname{ch}(\lambda_1 x) - 1)}{\lambda_1^2} \right], \quad (13)$$

$$\bar{T}_2(x) = A_2 \operatorname{sh}(\lambda_2 x) + B_2 \operatorname{ch}(\lambda_2 x) - \left[\frac{(\sqrt{\xi_2} \cdot \Delta_{20} \cdot \cos \varphi - \sqrt{\xi_1} \cdot \Delta_{10} \cdot \sin \varphi) \cdot (\operatorname{ch}(\lambda_2 x) - 1)}{\lambda_2^2} \right], \quad (14)$$

Произвольные постоянные A_i и B_i определяются из граничных условий (сдвигающие усилия на опорах без препятствий сдвигу равны 0):

$$x = 0 \rightarrow \bar{T}_1(0) = \bar{T}_2(0) = 0; \quad x = l \rightarrow \bar{T}_1(l) = \bar{T}_2(l) = 0.$$

Подставляя граничные условия в выражения (13) и (14), получаем: $B_1 = B_2 = 0$,

$$A_1 = \frac{\sqrt{\xi_1} \Delta_{10} \cos \varphi \cdot (1 - chl \lambda_1) + \sqrt{\xi_2} \Delta_{20} \sin \varphi \cdot (1 - chl \lambda_1)}{\lambda_1^2 \cdot shl \lambda_1}; \quad (15)$$

$$A_2 = \frac{\sqrt{\xi_2} \Delta_{20} \cos \varphi \cdot (1 - chl \lambda_2) - \sqrt{\xi_1} \Delta_{10} \sin \varphi \cdot (1 - chl \lambda_1)}{\lambda_2^2 \cdot shl \lambda_2}. \quad (16)$$

Подстановка значений A_1 и A_2 в (13) и (14), а затем полученных значений в выражения (10) дает возможность определить сдвигающие усилия T_i в любом сечении по высоте стойки. Нормальные напряжения в ребрах определяются по формуле:

$$\sigma_p = \frac{1}{n_p} \left(\frac{-T_1 + T_2}{A_p} \pm \frac{M_p \cdot 0,5 \cdot t_p}{I_p} \right), \quad (17)$$

где M_p – момент в ребре, возникающий за счет работы связей сдвига, определяемый по формуле (18) (для симметричной трехслойной панели $M_p=0$);

n_p – количество продольных ребер.

$$M_p = -\frac{(T_1 \cdot c_1 + T_2 \cdot c_2) \cdot E_p \cdot I_p}{\Sigma EI}. \quad (18)$$

Для определения значения N_{kp} рассмотрим панель как составной 3-хслойный сжатый стержень, наружными слоями которого являются обшивки, а внутренний слой – продольные ребра (рисунок 3). Связями сдвига в швах являются податливые (гвозди, винты, скобы) соединения. Согласно [21] запишем систему дифференциальных уравнений составного сжатого стержня с учетом продольного изгиба:

$$\begin{cases} T_1''/\xi_1 = \Delta_{11}T_1 + \Delta_{12}T_2 + \Delta_{1y}y + \Delta_{10} \\ T_2''/\xi_2 = \Delta_{21}T_1 + \Delta_{22}T_2 + \Delta_{2y}y + \Delta_{20} \\ \Sigma N^0 y'' = \Delta_{y1}T_1 + \Delta_{y2}T_2 + \Delta_{yy}y_2 + \Delta_{y0} \end{cases}, \quad (19)$$

Здесь:

$$\Delta_{yi} = \Delta_{iy} = \frac{\Sigma N^0}{\Sigma EI} c_i; \quad \Delta_{yy} = \frac{(\Sigma N^0)^2}{\Sigma EI}; \quad \Delta_{y0} = -\frac{\Sigma N^0}{\Sigma EI} M^0, \quad (20)$$

где y – прогиб элемента;

ΣN_0 – суммарная продольная нагрузка на панель.

Поскольку $M_0=0$, коэффициенты Δ_{i0} и Δ_{y0} равны 0, система однородна. Её решением является $T_i=0$, $y=0$. Однако, при некоторых суммарных значениях продольной силы однородная система имеет решения, отличные от нуля, которые соответствуют формам потери устойчивости сжатого составного стержня. Эти значения суммарной продольной силы ΣN_0 являются критическими. При шарнирном опирании концов стойки граничными условиями будут: $x=0$ $T_i=0 \rightarrow y=0$; $x=l \rightarrow T_i=0$, $y=0$. Система дифференциальных уравнений при этих граничных условиях имеет решение [21]:

$$T_i = \alpha_i \sin \chi x; \quad y = \alpha_y \sin \chi x, \quad (21)$$

где $\chi = k\pi / l$, k – целое положительное число, учитывающее форму потери устойчивости;

α_i , α_y – постоянные коэффициенты.

Подставляя выражения (21) в (19) и сокращая на $\sin \chi x$ получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \left(\Delta_{11} + \frac{\chi^2}{\xi_1} \right) \alpha_1 + \Delta_{12} \alpha_2 + \frac{\Sigma N^0}{\Sigma EI} c_1 \alpha_y = 0 \\ \Delta_{21} \alpha_{21} + \left(\Delta_{22} + \frac{\chi^2}{\xi_2} \right) \alpha_2 + \frac{\Sigma N^0}{\Sigma EI} c_2 \alpha_y = 0 \\ \frac{\Sigma N^0}{\Sigma EI} c_1 \alpha_1 + \frac{\Sigma N^0}{\Sigma EI} c_2 \alpha_2 + \left[\frac{(\Sigma N^0)^2}{\Sigma EI} + \Sigma N^0 \chi^2 \right] \alpha_y = 0 \end{cases}. \quad (22)$$

Решение этой однородной системы обыкновенных уравнений, в которой независимыми являются α_i , α_y отличается от нуля только тогда, когда ее определитель равен нулю. Сокращая систему на $(\Sigma N_0)^2 / \Sigma EI$, получаем уравнение:

$$\begin{vmatrix} (\Delta_{11} + \chi^2 / \xi_1) & \Delta_{12} & c_1 \\ \Delta_{21} & (\Delta_{22} + \chi^2 / \xi_2) & c_2 \\ c_1 & c_2 & [\Sigma EI + \chi^2 (\Sigma EI)^2 / \Sigma N^0] \end{vmatrix} = 0. \quad (23)$$

Раскрывая определитель относительно ΣN_0 , получаем выражение для определения критической силы $N_{kp} = \Sigma N_0$:

$$N_{kp} = - \frac{\chi^2 \Sigma EI^2 \cdot (\chi^4 + \chi^2 \xi_1 \Delta_{11} + \chi^2 \xi_2 \Delta_{22} + \xi_1 \xi_2 \Delta_{11} \Delta_{22} - \xi_1 \xi_2 \Delta_{12}^2)}{\chi^2 (\chi^2 \Sigma EI - c_1^2 \xi_1 - c_2^2 \xi_2 + \xi_1 \Delta_{11} \Sigma EI + \xi_2 \Delta_{22} \Sigma EI) - (-\xi_1 \xi_2 \cdot (c_2^2 \Delta_{11} + c_1^2 \Delta_{22} - 2c_1 c_2 \Delta_{12} - \Delta_{11} \Delta_{22} \Sigma EI + \Delta_{12}^2 \Sigma EI))}. \quad (24)$$

Минимальные значения критической силы получаются при $k=1$, что соответствует изгибу стойки по одной полуволне синусоиды.

Результаты исследования и их анализ

Рассмотрим стеновую панель на деревянном каркасе, размерами $1,0 \times 3,0$ м, с тремя продольными ребрами (сосна/ель [23]). Ребра шарнирно закреплены по концам. Сечение ребер 40×100 м. Обшивка соединена с ребрами податливыми механическими связями. На ребра панели действует продольная сжимающая нагрузка, передаваемая с вышестоящих панелей без эксцентричности. Рассматриваем панели с двухсторонними обшивками толщиной 12, 15 и 18 мм из ориентированно-стружечных плит OSB/3 [24], фанеры конструкционной марки ФК [25] и цементно-стружечных плит ЦСП [26]. Определяем значения критической силы и коэффициенты продольного изгиба в зависимости от жесткости связей, толщины и материала обшивок. Расчетная ширина обшивки согласно [20] составляет $0,9 b_n = 0,9$ м. Результаты расчета критической силы $|N_{kp}|$ представлены на графиках на рисунке 3. Значения приводятся на 1 ребро. Критическая сила при $\xi=0$ определена для ребра без учета обшивок, по формуле Эйлера.

Представленная методика позволяет определить значение критической силы для ребер, входящих в состав сжатых деревокомпозитных стеновых панелей. После определения значений критической силы $|N_{kp}|$ по формуле (2) можно определять коэффициенты продольного изгиба φ с учетом работы обшивок в составе панели, и по формуле (1) производить упрощенный инженерный расчет таких конструкций.

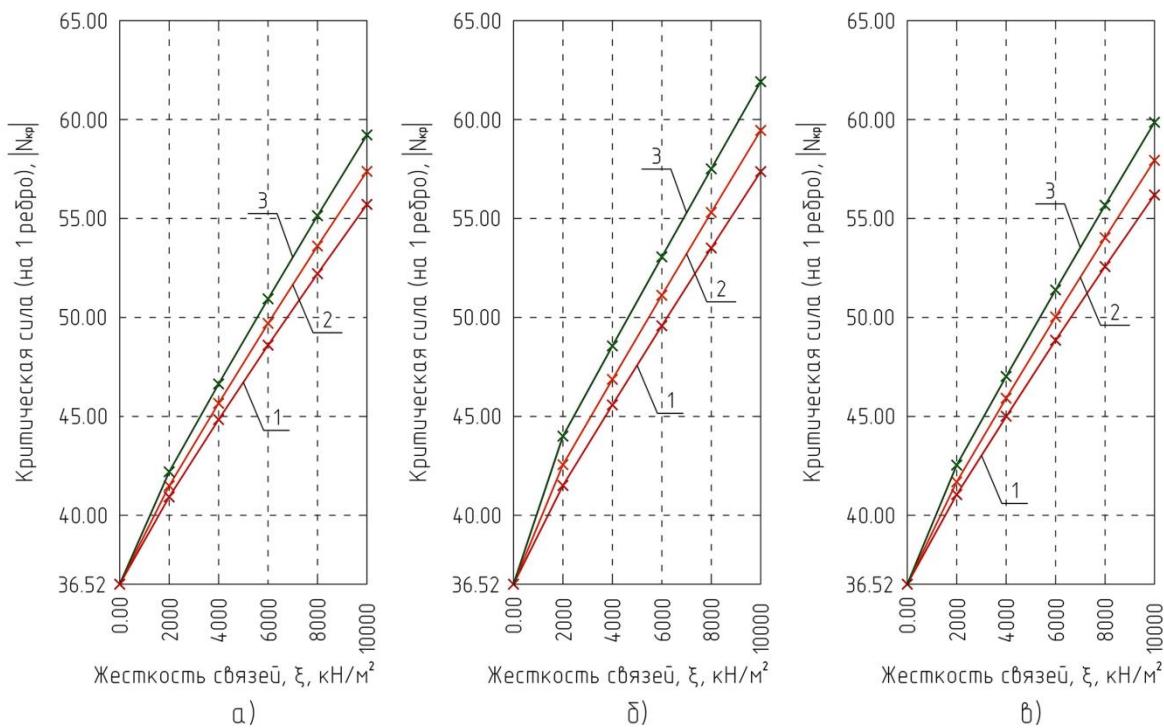


Рисунок 3 – Зависимости $|N_{kp}|$ для одного ребра от жесткости связей, крепящих обшивку к ребрам: а – обшивки из OSB; б – ФК; в – ЦСП; 1 – $t_{ob}=12\text{ мм}$; 2 – $t_{ob}=15\text{ мм}$; 3 – $t_{ob}=18\text{ мм}$

Учет обшивки в работе ребер при сжатии позволяет повысить прочность и устойчивость конструкции. В зависимости от жесткости механических связей увеличение критической силы установлено до 62% с обшивками из OSB; до 69% при обшивках из ФК и до 64% при обшивках из ЦСП. Из графиков на рисунке 3 очевидно, что увеличение жесткости связей сдвига дает значительно больший прирост значений $|N_{kp}|$, чем увеличение толщины обшивки. Так, при увеличении жесткости соединений от 0 до 10000 кН/м² позволяет увеличить значения $|N_{kp}|$ на 52...69%, в то время как увеличение толщины обшивки в 1,5 раза (с 12 до 18 мм) – на 6...8%. Использование обшивок из фанеры дает наибольший эффект увеличения $|N_{kp}|$, до 4,5% по сравнению с OSB, до 2,6% – с ЦСП.

Выводы

1. Представленная методика позволяет уточнить напряженно-деформированное состояние стеновых панелей на деревянном каркасе и определить значение критической силы с учетом вовлеченных в работу обшивок, соединенных с ребрами податливыми механическими связями.
 2. Учет двухсторонних обшивок в работе ребер позволяет значительно увеличить значение критической силы $|N_{kp}|$. Наибольшее увеличение критической силы $|N_{kp}|$ наблюдается при повышении жесткости механических связей сдвига, крепящих обшивку к ребрам. Увеличение толщины обшивки, а так же применяемый материал (OSB, ФК или ЦСП) дает весьма незначительный эффект.
 3. Для повышения прочности и устойчивости стеновых деревокомпозитных панелей следует, в первую очередь, уменьшать податливость механических соединений на границе «ребро-обшивка», что может быть достигнуто как применением более сдвигостойчивых связей, так и уменьшением шага их расстановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковальчук Л.М., Турковский С.Б., Пискунов Ю.В. Деревянные конструкции в строительстве. М.: Стройиздат, 1995. 248 с.
2. Линьков И. М. Исследование стеновых панелей с деревянным каркасом и асбестоцементной обшивкой // В сборнике ЦНИИСК «Стеновые панели на основе древесных материалов и асбестоцемента». М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. 1963. Вып. 26. С. 16–19.
3. Кавелин А.С. исследование работы на сдвиг гвоздевого соединения обшивки и ребра деревянной стеновой панели // В сборнике: Строительство–2014: современные проблемы промышленного и гражданского строительства. Материалы международной научно–практической конференции. Ростовский государственный строительный университет, Институт промышленного и гражданского строительства. 2014. С. 98–100.
4. Лабудин Б.В., Воронков С.А., Гмырина А.П., Русланова А.П. Исследование прочности стеновых панелей на деревянном каркасе для условий крайнего севера // В сборнике: Строительная наука – XXI: теория, образование, практика, инновации Северо–арктическому региону Сборник трудов международной научно–технической конференции 28–30 июня 2015 г. С. 187–193.
5. Гребенюк Г.И., Дмитриев П.А., Жаданов В.И., Астащенков Г.Г. Конструирование, расчет и оптимизация совмещенных ребристых конструкций на основе древесины // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 11–12 (659–660). С. 48–57.
6. Жаданов В.И., Чарикова В.В., Хорошавин Е.А. Конструктивные решения малоэтажных зданий на основе древесины, применяемые в Финляндии // В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры Материалы Всероссийской научно-методической конференции. 2016. С. 520–525.
7. Жаданов В.И., Инжутов И.С., Украинченко Д.А., Яричевский И.И. О неиспользуемых резервах в проектировании панельных конструкций на основе деревянного каркаса // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 2 (686). С. 15–24.
8. Украинченко Д.А., Жаданов В.И., Калинин С.В. Численные исследования плит покрытия и панелей стен с kleedoштатой обшивкой // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 1 (42). С. 68–79.
9. Русланова А.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И., Филиппов В.В. Объемно–модульное домостроениу для высоких широт Арктики // В сборнике: Строительная наука – XXI: теория, образование, практика, инновации Северо–арктическому региону Сборник трудов VIII международной научно-технической конференции. 2017. С. 242–250.
10. Пятикрестовский К.П., Травуш В.И. Панели для стен жилых домов и покрытий различных зданий из древесины // Жилищное строительство. 2016. № 4. С. 44–47.
11. Тисевич Е. В. Сжато–изгибающие клееванерные стеновые панели с обшивкой, включенной в общую работу конструкции: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.01/Тисевич Е. В. Оренбург, 2008. 209 с.
12. Жаданов В. И. Малоэтажные здания и сооружения из совмещенных ребристых конструкций на основе древесины: диссертация ... доктора технических наук: 05.23.01/Жаданов В. И. Оренбург, 2008. 423 с.
13. Лабудин Б.В., Мелехов В.И., Хохлунов А.Н. Инженерный расчёт ребристых плит покрытия с обшивками из древесно–композиционных материалов // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2009. № 24. С. 100–103.
14. Механиков В. М. Соединение элементов в конструкциях с применением ЦСП. Диссертация канд. техн. наук. М.: 1995. 137 с.
15. Попов Е.В., Филиппов В.В., Мелехов В.И., Лабудин Б.В., Тюрикова Т.В. Влияние жесткости связей сдвига при расчете ребристых панелей на деревянном каркасе // Лесной журнал. 2016. №4. С. 123–134.
16. Черных А.Г., Черных А.С., Коваль П.С. [и др.] Прочность и жесткость стеновых панелей на деревянном каркасе // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 171–179.
17. Попов Е.В., Тюрикова Т.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. О повышении сдвигустойчивости податливых связей составных деревянных конструкций на когтевых шайбах «Bulldog» // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. №4. С. 23–28.
18. Римшин В.И., Лабудин Б.В., Мелехов В.И., Попов Е.В., Рошина С.И. Соединения элементов деревянных конструкций на шпонках и шайбах // Вестник МГСУ. 2016. №9. С. 35–50.
19. Украинченко Д. А. Деревянные унифицированные панельные конструкции с kleedoштатой обшивкой: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.01/Украинченко Д. А. Оренбург, 2011. 188 с.
20. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II–22–81. М.: 2017. 105 с.
21. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки: научное издание. Москва: Стройиздат, 1986. 314 с.

22. Турков А.В. Усилия в двухслойной составной балке с поперечными связями и различными граничными условиями слоев // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: строительство и транспорт. 2009. №1 (21). С. 62–64.
23. ГОСТ 24454–80*. Пиломатериалы хвойных пород. Размеры : введ. 1995–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1995. 20 с.
24. ГОСТ 32567–2013 Плиты древесные с ориентированной стружкой. Технические условия: введ. 01–07–2014. М.: «Стандартинформ», 2014. 17 с.
25. ГОСТ 3916.1 – 96. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия: введ. 2004–07–01. Минск : Изд–во стандартов, 2004. 27 с.
26. ГОСТ 26816– 2016 Плиты цементно–стружечные. Технические условия / Технический комитет по стандартизации ТК 465 «Строительство». – Офиц. изд. Введ. с 01–04–2017. Москва: ФГУП «Стандартинформ», 2016. 15 с.

REFERENCES

1. Koval'chuk L.M., Turkovskiy S.B., Piskunov YU.V. Derevyannyye konstruktsii v stroitel'stve [Wooden structures in construction]. Moscow: Stroyizdat, 1995. 248 p.
2. Lin'kov I. M. Issledovaniye stenovykh paneley s derevyannym karkasom i asbestotsementnoy obshivkoy [Study of wall panels with a wooden frame and asbestos-cement sheathing]. In proc.TSNIISK «Stenovyye paneli na osnove drevesnykh materialov i asbestotsementa» [“Wall panels based on wood materials and asbestos cement”]. Moscow: Gosudarstvennoye izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, arkhitektury i stroitel'nym materialam. 1963. Vol. 26. Pp. 16–19.
3. Kavelin A.S. issledovaniye raboty na sdvig gvozdevogo soyedineniya obshivki i rebra derevyannoy stenovoy paneli [Study of the work on the shear nail joints of the skin and the edges of the wooden wall panel]. In proc. Stroitel'stvo–2014: sovremenныye problemy promyshlennogo i grazhdanskogo stroitel'stva. Materialy mezhdunarodnoy nauchno–prakticheskoy konferentsii. Rostovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet, Institut promyshlennogo i grazhdanskogo stroitel'stva [Construction-2014: modern problems of industrial and civil construction. Materials of the international scientific-practical conference. Rostov State University of Civil Engineering, Institute of Industrial and Civil Engineering]. 2014. Pp. 98–100.
4. Labudin B.V., Voronkov S.A, Gmyrina A.P., Ruslanova A.P. Issledovaniye prochnosti stenovykh pa-neley na derevyannom karkase dlya usloviy kraynego severa [Study of the strength of wall panels on a wooden frame for the conditions of the Far North]. In proc.: Stroitel'naya nauka – XXI: teoriya, obrazovaniye, praktika, innovatsii Severo–arkticheskому regionu Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauch-no–tekhnicheskoy konferentsii 28–30 iyunya [Building Science - XXI: Theory, Education, Practice, Innovations in the North-Arctic Region Collection of works of the international scientific and technical conference June 28-30]. 2015. Pp. 187–193.
5. Grebenyuk G.I., Dmitriyev P.A., Zhadanov V.I., Astashenkov G.G. Konstruirovaniye, raschet i optimizatsiya sovmeshchennykh rebristykh konstruktsiy na osnove drevesiny [Design, calculation and optimization of combined ribbed wood-based structures]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo.* 2013. No 11–12 (659–660). Pp. 48–57.
6. Zhadanov V.I., Charikova V.V., Khoroshavin Ye.A. Konstruktivnyye resheniya maloetazhnykh zdaniy na os-nove drevesiny, primenyayemyye v Finlyandii [Constructive solutions of low-rise buildings based on wood used in Finland]. N proc.: Universitetskiy kompleks kak regional'nyy tsentr obrazovaniya, nauki i kul'tury Materialy Vsesrossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii [University complex as a regional center of education, science and culture Materials of the All-Russian Scientific -methodical conference]. 2016. Pp. 520–525.
7. Zhadanov V.I., Inzhutov I.S., Ukrainianchenko D.A., Yarichevskiy I.I. O neispol'zuyemykh rezervakh v proyektirovaniy panel'nykh konstruktsiy na osnove derevyannogo karkasa [On unused reserves in the design of panel structures based on wooden carcass] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo.* 2016. No 2 (686). Pp. 15–24.
8. Ukrainianchenko D.A., Zhadanov V.I., Kalinin S.V. Chislennyye issledovaniya plit pokrytiya i paneley sten s kleyedoshchatoy obshivkoy [Numerical studies of slabs and wall panels with glue-clad panels]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta.* 2014. No 1 (42). Pp. 68–79.
9. Ruslanova A.V., Labudin B.V., Melekhov V.I., Filippov V.V. Ob'yemno-modul'noye domostroyeniu dlya vysokikh shirok Arktiki [Volumetric – modular housebuilding for high latitudes of the Arctic]. In proc.: Stroitel'naya nauka – XXI: teoriya, obrazovaniye, praktika, innovatsii Severo–arkticheskому regionu Sbornik trudov VIII mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii [Building Science - XXI: Theory, Education, Practice, Innovations in the North-Arctic Region Collection of works of the VIII International Scientific and Technical Conference]. 2017. Pp. 242–250.
10. Pyatikrestovskiy K.P., Travush V.I. Paneli dlya sten zhilykh domov i pokrytiy razlichnykh zdaniy iz drevesiny [Panels for the walls of houses and coatings of various buildings of wood]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo.* 2016. No 4. Pp. 44–47.
11. Tisevich Ye. V. Szhato–izgibayemyye kleyefanernyye stenovyye paneli s obshivkoy, vklyuchennoy v obshchuyu rabotu konstruktsii: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.23.01/Tisevich Ye. V. [Compressed-

bent plywood wall panels with the covering included in the general work of a design: the dissertation ... Cand.Tech.Sci.: 05.23.01 / Tisevich E.V.]. Orenburg, 2008. 209 p.

12. Zhadanov V. I. Maloetazhnyye zdaniya i sooruzheniya iz sovmeshchennykh rebristykh konstruktsiy na osnove drevesiny: dissertatsiya ... doktora tekhnicheskikh nauk: 05.23.01/Zhadanov V. I. [Low-rise buildings and structures from combined ribbed structures on the basis of wood: dissertation ... doctor of technical sciences: 05.23.01 / Zhadanov V.I.]. Orenburg, 2008. 423 p.

13. Labudin B.V., Melekhov V.I., Khokhlunov A.N. Inzhenernyy raschet rebristykh plit pokrytiya s obshivkami iz drevesno-kompozitsionnykh materialov [Engineering calculation of ribbed slabs with wood-composite обшивка]. Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa. 2009. No 24. Pp. 100–103.

14. Mekhanikov V. M. Soyedineniye elementov v konstruktsiyakh s primeneniem TSSP. Dissertatsiya kand. tekhn. nauk [Connection of elements in constructions using DSP. Thesis Cand. tech. sciences]. Moscow, 1995. 137 p.

15. Popov Ye.V., Filippov V.V., Melekhov V.I., Labudin B.V., Tyurikova T.V. Vliyaniye zhestkosti svyazey sdvigov pri raschete rebristykh paneley na drevyannom karkase [Influence of stiffness of shear connections in the calculation of ribbed panels on a wooden frame]. *Lesnoy zhurnal*. 2016. No 4. Pp. 123–134.

16. Chernykh A.G., Chernykh A.S., Koval' P.S. et al. Prochnost' i zhestkost' stenovykh paneley na drevyanom karkase [The strength and rigidity of wall panels on a wooden frame]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012. No 3. Pp. 171–179.

17. Popov Ye.V., Tyurikova T.V., Labudin B.V., Melekhov V.I. O povyshenii sdvigoustoychivosti podatlyivkh svyazey sostavnykh drevyannykh konstruktsiy na kogtevykh shaybakh «Bulldog» [On increasing the shear stability of the flexible links of composite wooden structures on the bulldog claw washers]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2016. No 4. Pp. 23–28.

18. Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Popov Ye.V., Roshchina S.I. Soyedineniya elementov drevyan-nykh konstruktsiy na shponkakh i shaybakh [Connections of the elements of wooden structures with keys and washers]. *Vestnik MGSU*. 2016. No 9. Pp. 35–50.

19. Ukrainchenko D. A. Derevannyye unifitsirovannyye panel'nyye konstruktsii s kleyedoshchatoy obshivkoj: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.23.01/Ukrainchenko D. A. [Wooden unified panel constructions with glue-cladding: the dissertation ... Candidate of Technical Sciences: 05.23.01 / Ukrainianenko D.A.]. Orenburg, 2011. 188 p.

20. Building Code of Russian Federation SP 64.13330.2017. Derevannyye konstruktsii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II–22–81 [Wooden structures. Updated edition of SNiP II – 22–81]. Moscow, 2017. 105 p.

21. Rzhanitsyn A.R. Sostavnyye sterzhni i plastinki: nauchnoye izdaniye. Moscow: Stroyizdat, 1986. 314 p.

22. Turkov A.V. Usiliya v dvukhsloynoy sostavnoy balke s poperechnymi svyazyami i razlichnymi granichnymi usloviyami sloyev [Efforts in a two-layer composite beam with cross-links and various boundary conditions of layers]. *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: stroi-tel'stvo i transport*. 2009. No 1 (21). Pp. 62–64.

23. Standard of Russian Federation GOST 24454–80*. Pilomaterialy khvoynykh porod. Razmery : Intr. 1995–01–01 [Softwood lumber. Sizes: enter. 1995–01–01]. Moscow: Izd-vo stan-dartov, 1995. 20 p.

24. Standard of Russian Federation GOST 32567–2013 Plity drevesnyye s oriyentirovannoy struzhkoy. Tekhnicheskiye usloviya: Intr. 01–07–2014 [Wood-based plates with oriented chips. Specifications: enter. 01–07–2014]. Moscow: "Standartinform", 2014. 17 p.

25. Standard of Russian Federation GOST 3916.1 – 96. Fanera obshchego naznacheniya s naruzhnymi sloyami iz shpona listvennykh porod. Tekhnicheskiye usloviya: Intr. 2004–07–01 [Plywood for general use with outer layers of hardwood veneer. Specifications: enter. 2004–07–01]. Minsk: Izd-vo standartov, 2004. 27 p.

26. Standard of Russian Federation GOST 26816– 2016 Plity tsementno-struzhechnyye. Tekhnicheskiye usloviya / Tekhnicheskiy komitet po standartizatsii TK 465 "Stroitel'stvo". Ofits. ed. Intr. from 01–04–2017 [Cement-particle board. Technical conditions / Technical Committee for Standardization TC 465 "Construction". - Officer ed. Enter from 01–04–2017]. Moscow: FGUP "Standartinform", 2016. 15 p.

Информация об авторах:

Попов Егор Вячеславович

ФГОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск, канд. техн. наук, доцент кафедры Инженерных конструкций, архитектуры и графики.
E-mail: EPV1989@yandex.ru

Карельский Александр Викторович

ФГОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск, канд. техн. наук, доцент кафедры Инженерных конструкций, архитектуры и графики.
E-mail: KAW_79@mail.ru

Русланова Анастасия Владимировна

ФГОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск, аспирант.

E-mail: Kalipso64@gmail.com

Столыпин Денис Александрович

ФГОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск, студент.

E-mail: Cast88Iron@mail.ru

Лабудин Борис Васильевич

ФГОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск, д–р. техн. наук, проф., профессор кафедры Инженерных конструкций, архитектуры и графики.

E-mail: KAW_79@mail.ru

Мелехов Владимир Иванович

ФГОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный Университет им. М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск, д–р. техн. наук, проф., профессор кафедры лесопромышленных производств и обработки материалов.

E-mail: v.melekhov@narfu.ru

Торопов Александр Степанович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, г. Йошкар–Ола, д–р. техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник УНИД.

E-mail: Toropov_A_S@mail.ru

Information about authors:**Popov Egor Vyacheslavovich**

FSEI of HE «Northern (Arctic) Federal University n.a. M.V. Lomonosov, Russia, Arkhangelsk, PhD, Assistant Professor of the Department of Engineering Designs, Architecture and Graphics.

E-mail: EPV1989@yandex.ru

Karelsky Alexander Viktorovich

FSEI of HE « Northern (Arctic) Federal University n.a. M.V. Lomonosov, Russia, Arkhangelsk, PhD, Assistant Professor of the Department of Engineering Designs, Architecture and Graphics.

E-mail: KAW_79@mail.ru

Ruslanova Anastasia Vladimirovna

FSEI of HE « Northern (Arctic) Federal University n.a. M.V. Lomonosov, Russia, Arkhangelsk, graduate student.

E-mail: Kalipso64@gmail.com

Stolypin Denis Aleksandrovich

FSEI of HE « Northern (Arctic) Federal University n.a. M.V. Lomonosov, Russia, Arkhangelsk, student.

E-mail: Cast88Iron@mail.ru

Labudin Boris Vasilyevich

FSEI of HE «Northern (Arctic) Federal University n.a. M.V. Lomonosov, Russia, Arkhangelsk, Dr. tech. Sciences, Professor, Professor of the Department of Engineering Designs, Architecture and Graphics.

E-mail: KAW_79@mail.ru

Melekhov Vladimir Ivanovich

FSEI of HE « Northern (Arctic) Federal University n.a. M.V. Lomonosov, Russia, Arkhangelsk, Dr. tech. sciences, prof., professor of the department of forest industry and processing materials.

E-mail: v.melekhov@narfu.ru

Toropov Alexander Stepanovich

FSBEI of HE "Volga State University of Technology", Russia, Yoshkar–Ola, Dr. tech. Sciences, Prof., Leading Researcher UNID.

E-mail: Toropov_A_S@mail.ru