

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Подібка Тарас Іванович

УДК 674.41 : 674.028.11 : 674.061.2

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
БЕЗДЕФЕКТНИХ ДІЛЯНОК СОСНОВИХ ТА БУКОВИХ ЛАМЕЛЕЙ НА
ФОРМОСТІЙКІСТЬ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ**

Спеціальність 187 – Деревообробні та меблеві технології

Галузь знань 18 – Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Т.І. Подібка

Науковий керівник Кійко Орест Антонович, доктор технічних наук,
професор

АНОТАЦІЯ

Подібка Т.І. Закономірності впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 187 – Деревообробні та меблеві технології – Національний лісотехнічний університет України, Львів, 2023.

У дисертаційній роботі розроблено та обґрунтовано науково-методичні основи визначення закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових монолітних та зрощених ламелей на формостійкість меблевих щитів (МЩ), внаслідок чого була вирішена актуальна проблема підвищення якості, зокрема допустимої площинності різних конструкцій з прогнозованими значеннями стріл прогину, що безперечно має велике практичне значення для використання у виробництві виробів з деревини.

На основі аналізу літературних джерел визначено, що МЩ мають значні коливання стріл прогину поверхонь, що приводить до низької якості щитових конструкцій, тобто зміни формостійкості. Результати проведеного аналізу засвідчили, що актуальна наукова проблема, яка пов'язана із встановленням закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість МЩ різних конструкцій з прогнозованими характеристиками для використання у виробництві виробів з деревини, вирішена не повністю. Відсутність системного підходу до її вирішення в умовах апріорної невизначеності процесів підготовки ламелей, залежно від величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, співвідношення ширини до товщини рейки, від кількості зрощених бездефектних відрізків в одній ламелі, а також способів укладання рейок в конструкціях виробів, вказує на необхідність проведення подальших досліджень.

Реалізовано прогнозування формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного на основі методу скінченних елементів, який враховує

особливості властивостей монолітних або зрощених ламелей. Запропоновано методичний підхід для прогнозування можливого відхилення від площинності МЩ під час мінливості – зміни величини вологості та температури в приміщенні чи навколишньому середовищі. Запропоновано модель фізичних властивостей ламелей при кінцево-елементному аналізі МЩ на основі циліндричної системи координат анізотропії постійних пружності, так як це доречно через особливості форми – відхилення від ідеальності річних шарів.

Розроблено математичні моделі прогнозування формостійкості для меблевих щитів товщиною 24 мм із склеєних рейок із деревини бука, зокрема : залежність величини стріли прогину (формостійкості) $S_{рн}$ для МЩ із монолітних бездефектних відрізків з врахуванням пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) – коефіцієнта K_p та величин кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ – коефіцієнта K_n ; залежність величини стріли прогину (формостійкості) S_z , що враховує кількість зрощених заготовок на 1 метр довжини та залежність величини стріли прогину (формостійкості) S_y , що враховує спосіб укладання. Розраховано, з використанням ітераційного методу та методу найменших квадратів, коефіцієнти апроксимації для прогнозування характеристик МЩ.

На підставі обґрунтованої та запропонованої методики експериментальних досліджень, встановлено закономірності впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість МЩ. Експериментально отримано три регресійні залежності, що описують вплив на стрілу прогину меблевого щита поперечних розмірів рейок, кута нахилу річних кілець до пласті плити, монолітність ламелей та спосіб укладання. Експериментально визначено стріли прогину для МЩ із деревини **сосни звичайної (*Pinus sylvestris*)** та побудовано адекватну регресійну модель залежно від почергового укладання радіальних ($B_{рад}$) та тангентальних ($B_{тан}$) рейок ширинами 20, 50 та 80 мм при товщині 20 мм. Встановлено, що ширина рейок в конструкції МЩ суттєво впливає на формостійкість конструкції. Обидва змінних фактори впливають

прямопропорційно. Найбільше на **стрілу прогину S_c** МЩ із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної з почерговим укладанням за кутом нахилу річних шарів радіальних (кут нахилу річних кілець у перерізі рейок 61-90°) та тангентальних (кут нахилу річних кілець у перерізі рейок до площини щита 1-30°) впливає другий фактор $V_{\text{тан}} (x_2)$ – ширина тангентальних рейок. Вплив другого фактору $V_{\text{тан}} (x_2)$ на формостійкість у порівнянні з першим (радіал) $V_{\text{рад}} (x_1)$ є в 1,56 рази більшим. Виявлено, що збільшення ширини від 20 до 80 мм для радіальних рейок призводить зростання стріли прогину на 94,73-122,91 %, а для тангентальних – стріла прогину зростає на 203,45-288,51 %.

Експериментально визначено стріли прогину для МЩ із деревини **бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)** різного поперечного перерізу, зокрема товщиною ($V_{\text{тов}} = 16, 24, 32$ мм) та шириною ($V_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм), що склеювались крайками на гладку фугу та формували різні конструкції МЩ. Результати цього дослідження дали змогу отримати регресійну модель, що описує залежності показника **стріли прогину S_b** від впливу ширин та товщин рейок, тобто поперечного перерізу, для встановлення раціональних співвідношень, що забезпечувало б значення стріли прогину в межах норми. Встановлено, що обидва змінних фактори впливають, але по різному: товщина – оберненопропорційно, тобто забезпечує формостійкість конструкції, ширина – прямопропорційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість МЩ із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного з почерговим укладанням впливає другий фактор $V_{\text{шир}} (x_2)$ – ширина рейок. Вплив першого фактору $V_{\text{тов}} (x_1)$ на формостійкість у порівнянні з другим $V_{\text{шир}} (x_2)$ є в 1,7 рази меншим. Виявлено, що збільшення ширини від 36 до 84 мм призводить зростання стріли прогину на 210,16-292,85 % для різних товщин, а збільшення товщини від 16 до 32 мм для різних ширин призводить зменшення стріли прогину на 121,07-172,73 %.

Отримано регресійну залежність для прогнозування формостійкості МЩ, в яких рейки із масиву бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різного поперечного перерізу, зокрема товщиною 24 мм, шириною ($V_{\text{шир}} = 36, 60, 84$

мм) та кутом нахилу річних шарів, A_n : тангентальний 0-30°; напіврадіальний 31-60°; радіальний 61-90°. Результати цього дослідження дали змогу отримати рівняння регресії для визначення стріли прогину МЩ S_{pn} , залежно від змінних чинників – кута нахилу річних шарів (x_1, A_n) та ширини заготовок ($x_2, B_{шир}$). Обидва змінних фактори впливають по різному: збільшення кута – зменшує стрілу прогину, а ширина – прямопропорційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість МЩ із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного з почерговим укладанням впливає перший фактор $A_n (x_1)$ – величина кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ. Встановлено, що вплив другого фактору $B_{шир} (x_2)$ на S_{pn} у порівнянні з першим $A_n (x_1)$ є в 2,4 рази меншим. Виявлено, що збільшення ширини від 36 до 84 мм призводить збільшення величини стріли прогину на 128,17-169,75 % для різних кутів, а збільшення кутів нахилу від 0 до 90° призводить також до зменшення на 145,57-234,81 % для різних ширин.

За результатами експериментальних досліджень з'ясовано, що збільшення ширини рейок від 1:1 до 1:3,5 (товщина – ширина) зумовлює зростання стріли прогину відносно площини МЩ (на 128,17-169,75 %); збільшення величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ від 0 до 90° призводить до покращення формостійкості (на 145,57-234,81 %); збільшення кількості з'єднань в ламелях, що в конструкціях МЩ призводить до зменшення відхилення від площинності (на 2,82-7,1 %); використання схеми укладання ламелей певних розмірів від найгіршої до найоптимальнішої призводить до зменшення відхилення від площинності (на 108,6-215,0 %). Встановлено, що відхилення значень, одержаних за математичними моделями при перевірці на формостійкість різних конструкцій МЩ порівняно із експериментальними даними, не перевищували 19,68 % для характеристик рейок, 18,84 % для зрощених ламелей та 45,64 % для схем укладання.

Розроблено математичну модель розрахунку економічної ефективності $EE_{МЩ}$ процесу одержання ламелей із монолітних та зрощених ламелей із бездефектних відрізків залишків деревини (ЗД) та первинної деревини (ПД) для

меблевих щитів заданої формостійкості, використання якої дасть можливість прогнозувати перспективи розвитку підприємства, ефективно та швидко визначити кошторис виробничої собівартості МЩ з бездефектних ділянок соснових та букових ламелей. Визначено за результатами економічних обчислень, що сумарне значення $EE_{\text{МЩ}}$ від залучення ЗД категорії ЗД-0 у порівнянні із ПД I сортової категорії для одержання розмірних, якісних, зокрема радіальних заготовок із деревини бука становить 207,44 %, а із деревини сосни 184,921 % і стимулює до впровадження ресурсощадних технологій з виробництва, зокрема МЩ. Під розрахунку кошторису МЩ із вхідних елементів різного походження встановлено, що при застосуванні ЗД є можливість отримати і екологічну, і матеріальну винагороду. Суттєвий грошовий бонус для виробника МЩ – це максимальне залучення розмірно-придатних залишків у виробничий процес. Так, при конструкціях МЩ 50 % із ПД та 50% із ЗД дохід від продажу МЩ для обсягів 257,91 тис. м³ для сосни та 32,73 тис. м³ для бука складе: сосна – 5841,49 млн.грн; бук – 1018,74. млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 1741,00 млн.грн; та 356,00 млн. грн. А конструкцій МЩ 100 % із ЗД дохід від продажу МЩ для даних обсягів складе: сосна – 4100,49 млн.грн; бук – 662,73 млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 3482,00 млн.грн; та 712,00 млн. грн. Таким чином, розрахунки показують, що здешевлення МЩ із ЗД складає від 22,96 % до 25,89 % при конструкції 50%/50%, від 45,92 % до 51,79 % при 100 % використанні ЗД. Розраховано, що в конструкціях МЩ 50 % із ПД та 50 % із ЗД вартість 1 м² складе: сосна – 539,27 грн; бук – 741,04 грн; при конструкціях МЩ 100% із ЗД вартість 1 м² складе: сосна – 321,45 грн; бук – 517,93 грн.

Ключові слова: меблевий щит, сосна звичайна (*Pinus sylvestris*), бук звичайний (*Fagus sylvatica* L.), рейка, ламель, фізико-механічні властивості, формостійкість, стріла прогину, технології, склеювання, зрощування, укладання, моделювання, математична модель, тепловологообмін, метод скінченних елементів, ітераційний метод, напруження, деформація, ортотропні матеріали, полівінілацетатні клеї, клейове з'єднання деревини, міцність, річні кільця.

ABSTRACT

Taras I. Podibka. Patterns of influence of dimensional characteristics of defect-free areas of pine and beech lamellas on the shape stability of furniture panel. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for earning the Degree of Doctor of Philosophy (PhD), specialty 187 – Woodworking technologies and furniture production technique. – Ukrainian National Forestry University, Lviv, 2023.

The dissertation work has developed and substantiated the scientific and methodological basis for determining the patterns of influence of the dimensional characteristics of defect-free areas of pine and beech monolithic and jointed lamellas on the shape stability (dimensional stability) of furniture panels, as a result of which the urgent problem of improving quality was solved, in particular, the permissible flatness of various structures with predictable values of (bending) deflection), which is certainly of great practical importance for use in the production of wood products.

Based on the analysis of literary sources, it was found that furniture panels (FP) have significant fluctuations in the surface deflection, which leads to low quality of panel structures, that is, changes in dimensional stability. The results of the analysis showed that the current scientific problem, associated with establishing the patterns of influence of dimensional characteristics of defect-free areas of pine and beech lamellas on the dimensional stability of FP of various designs with predictable characteristics for use in the production of wood products, has not been fully resolved. The absence of a systematic approach to its solution in conditions of a priori uncertainty of the processes of preparing the lamellas, depending on the angles the annual rings inclination to the panel face, the ratio of the width to the thickness of the strip, the number of jointed defect-free sections in one lamella, as well as the methods of laying strips in product designs, indicates the need for conducting further research. The prediction of dimensional stability of FP made of common (European) beech wood was implemented on the basis of the finite element method which takes into account the peculiarities of the properties of monolithic or jointed lamellas. An applied methodology has been developed for modeling and solving the problem of

predicting the deformable state of the FP under changing temperature and humidity conditions of the environment. A model of the physical properties of the lamellae is proposed in the finite element analysis of the FP based on the cylindrical coordinate system of the anisotropy of the elastic constants, as this is expedient when it is impossible to neglect the slope of the annual layers.

Mathematical models have been developed for predicting dimensional stability for 24-mm-thick FP made of glued beech wood strips, in particular: mathematical dependence of dimensional stability $S_{\text{strip stability}}$ for FP from monolithic defect-free segments taking into account the ratio of thickness to width – $K_{\text{thickness-width ratio}}$ coefficient and the angles of inclination of annual rings to the panel face – K_{incl} coefficient; the mathematical dependence of dimensional stability $S_{\text{jointing stability}}$, which takes into account the number of joined blanks per 1 meter of length, and the mathematical dependence of dimensional stability $S_{\text{laying stability}}$, which takes into account the method of laying. Approximation coefficients were calculated for predicting the characteristics of the furniture panel using the iterative method and the method of the least squares. On the basis of the well-grounded and proposed methodology of experimental research, patterns of influence of the dimensional characteristics of defect-free areas of pine and beech lamellas on the dimensional stability of FP have been established. Three regression dependences were experimentally obtained that describe the influence on a furniture panel deflection of the following factors: transverse dimensions of the strips, the angle of inclination of the annual rings to the panel face, the monolithicity of the lamellas and the method of their laying. Deflections for FP made of Scots pine wood (*Pinus sylvestris*) were experimentally determined and an adequate regression model was built depending on the alternate laying of radial (B_{rad}) and tangential (B_{tang}) strips with widths of 20, 50, and 80 mm at a thickness of 20 mm. It was found that the width of the strips in the structure of FP significantly affects the dimensional stability of the structure. Both variable factors influence directly proportionally.

Most of all, the deflection $S_{\text{pine defl}}$ of FP made of softwood species, in particular Scots pine, with alternate laying according to the angle of inclination of annual radial

layers (the angle of inclination of annual rings in the cross-section of defect-free segments – strips to the plane of the panel being 61-90°) and tangential layers (the angle of inclination of the annual rings in the section of defect-free segments – strips to the plane of the panel being 1-30°) is influenced by the second factor $B_{\text{tang}} (x_2)$ – the width of the tangential strips. The influence of the second factor $B_{\text{tang}} (x_2)$ on dimensional stability, compared to the first (radial) factor $B_{\text{rad}} (x_1)$, is 1.56 times stronger.. It was found that an increase in width from 20 to 80 mm for radial strips leads to an increase in the deflection by 94.73-122.91 %, and for tangential strips, the deflection increases by 203.45-288.51 %. The deflection was experimentally determined for FP made of common beech wood (*Fagus sylvatica* L) of different cross-sections, in particular, with thickness ($B_{\text{thickness}} = 16, 24, 32$ mm) and width ($B_{\text{width}} = 36, 60, 84$ mm), which were glued together with edges into a smooth fuge and formed various designs of glued panels.

As a results of this study, a regression model has been obtained which, describing the dependence of the deflection index $S_{\text{beech defl}}$ on the width and thickness of the strips, i.e. the cross-section, allows for establishing rational ratios that would ensure the value of the deflection to be within the normal range. It was established that both variable factors have an effect, but in different ways: the thickness is inversely proportional, i.e. it ensures the dimensional stability of the structure, the width is directly proportional, i.e. it increases the deflection with increasing width. The second factor $B_{\text{width}} (x_2)$ – the width of the strips – has the greatest effect on the dimensional stability of FP made of hardwood species, in particular common beech (*Fagus sylvatica* L.) with alternate laying. The influence of the first factor $B_{\text{thickness}} (x_1)$ on dimensional stability, compared to the second factor $B_{\text{width}} (x_2)$, is 1.7 times less.. It was found that an increase in width from 36 to 84 mm leads to an increase in deflection by 210.16-292.85 % for different thicknesses, and an increase in thickness from 16 to 32 mm for different widths leads to a decrease in deflection by 121.07-172.73 %. A regression relationship was obtained for predicting the dimensional stability of furniture panels, in which the strips are made of solid beech (*Fagus sylvatica* L.) of different cross-sections, in particular, with a thickness

of 24 mm, width: ($B_{\text{width}} = 36, 60, 84$ mm) and the angle of inclination of the annual layers, A_{angle} : tangential 0-30°; semi-radial 31-60°; radial 61-90°. The results of this study made it possible to obtain a regression equation for determining the deflection of FP S_{defl} , depending on the variable factors-the angle of inclination of the annual layers (x_1, A_{inclin}) and the width of the blanks (x_2, B_{width}). These two variable factors influence differently: an increase in the angle reduces the deflection, -width is directly proportional, that is, the deflection increases with an increase in width. The first factor $A_{\text{inclin}} (x_1)$ – the angle of inclination of the annual layers in the strips – has the strongest effect on the dimensional stability of FP made of hardwood species, in particular common beech with alternating laying. It was established that the influence of the second factor $B_{\text{width}} (x_2)$ on S_{defl} , compared to the first factor $A_{\text{inclin}} (x_1)$, is 2.4 times less. It was found that an increase in width from 36 to 84 mm leads to an increase in the value of the deflection by 128.17-169.75% for various angles, and an increase in the angles of inclination from 0 to 90° leads to a decrease by 145.57-234.81 % for different widths. According to the results of the experimental studies, it was found that an increase in the width of the strips from 1:1 to 1:3.5 (thickness-width ratio) leads to an increase in the deviation from flatness (by 128.17-169.75 %); increasing the angle of inclination of the annual rings to the panel face from 0 to 90° leads to an improvement in dimensional stability (by 145.57-234.81 %); an increase in the number of finger joints in the lamellas, which are in the construction of FP, leads to a decrease in the deviation from flatness (by 2.82-7.1 %); the use of a scheme of laying lamellas of certain sizes from the worst to the most optimal scheme leads to a decrease in the deviation from flatness (by 108.6-215.0 %). It was established that the deviations of the values obtained by mathematical models when testing the dimensional stability of FP of various designs in comparison with the experimental data did not exceed 19.68 % for the characteristics of the strips, 18.84 % for the jointed lamellas, and 45.64 % for the laying schemes.

A mathematical model has been developed for calculating the economic efficiency (EE_{FP} process) of obtaining lamellas from monolithic and jointed lamellas from defect-free pieces of wood residues (WR) and primary wood (PW) for FP of a given dimensional stability, the use of which will make it possible to predict the

prospects for the development of the enterprise, to efficiently and quickly determine the cost estimate of FP made from defect-free sections of pine and beech lamellas. It is calculated that the final EE_{FP} of using WR category WR-0 in comparison with PW of the 1st grade for the production of high-quality blanks from beech wood is 207.44 %, and from pine wood is 184.921 %, which stimulates the introduction of resource-saving production technologies, in particular FP. It has been established that, as demonstrated by the results of comparative studies on the estimation of the production cost of traditional FP made with the use of PW and FP made with the use of WR, it is possible to obtain financial and environmental-economic benefits when using WR. The main benefit of the manufacturer is the reduction of material costs for the production of FP with WR in comparison with traditional FP made with the use of PW. Thus, with furniture panel designs of 50% with PW and 50 % with WR, the income from the sale of FP for the volumes of 257.91 thousand m³ for pine and 32.73 thousand m³ for beech will amount to: Scots pine – 5,841.49 million UAH, European beech – 1,018.74. million UAH and accordingly – savings will amount to 1,741.00 million UAH and 356.00 million UAH. And with furniture panel designs of 100 % from WR, the income from the sale of FP for these volumes will be: Scots pine – 4,100.49 million UAH; European beech – 662.73 million UAH, and accordingly – savings will amount to 3,482.00 million UAH and 712.00 million UAH. Thus, the calculations show that the price reduction of FP with WR is from 22.96 % to 25.89 % with the 50%/50% design, from 45.92% to 51.79% with 100% use of WR. It is calculated that for the construction of FP 50% from PW and 50% from WR, the cost of 1 m² will be: Scots pine – UAH 539.27; European beech – UAH 741.04; for the construction of FP 100% from WR, the cost of 1 m² will be: Scots pine – UAH 321.45; European beech – UAH 517.93.

Key words: furniture panel, pine (*Pinus sylvestris*), beech (*Fagus sylvatica* L.), strip, lamella, physical and mechanical properties, shape stability, deflection, technologies, gluing, splicing, laying, modeling, mathematical model, heat-and-moisture transfer, finite element method, iterative method, stress, deformation, orthotropic materials, polyvinyl acetate adhesives, adhesive wooden joint, strength, annual rings.

Основні положення дисертації наведено у публікаціях:

Статті у наукових фахових виданнях України

Подібка Т.І. Конструкції та технологічні аспекти меблевих щитів в нормативних документах // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2018, вип. 44. – С. 83-90. doi: <https://doi.org/10.36930/42184411> Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/7/6>

Подібка Т.І., Кійко О.А. Дослідження впливу поперечних розмірів букових рейок на формостійкість меблевих щитів // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2019, вип. 45. – С. 155-171. doi: <https://doi.org/10.36930/42194521> (Здобувачем особисто виконано експериментальні дослідження, їх аналіз та опис, висновки). Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1/1>

Подібка Т.І. Дослідження формостійкості меблевих щитів із деревини сосни різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2020, вип. 46. – С. 108-120. doi: <https://doi.org/10.36930/42204613> Посилання на статтю у фаховому збірнику (опублікований до 12 березня 2020 року): <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/5/4>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та додатково відображають наукові результати дисертації

Подібка Т.І. Розроблення математичних моделей прогнозування формостійкості меблевих щитів з використанням методу скінченних елементів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2021, вип. 47. – С. 73-91. doi: <https://doi.org/10.36930/42214809> Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/9>

Подібка Т.І. Встановлення закономірностей впливу характеристик рейок на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 41-57. doi: <https://doi.org/10.36930/42214804> Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/10/9>

Подібка Т.І. Математична модель розрахунку економічної ефективності процесу виготовлення бездефектних відрізків для формостійких меблевих щитів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 58-69. doi: <https://doi.org/10.36930/42214805> Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/11/10>

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	17
ВСТУП	22
1. РОЗДІЛ 1. СТАН, АНАЛІЗ ТА ПРОБЛЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ – ЩИТІВ МЕБЛЕВИХ З ДЕРЕВИННИХ РЕСУРСІВ	30
1.1. Стан, актуальність та проблеми, аналіз та динаміка деревинної сировини та обсягів виробництва щитових конструкційних матеріалів в Україні	30
1.2. Аналіз технологічних аспектів під час виготовлення меблевих щитів	34
1.3. Аналіз нормативної бази щодо вимог до меблевих щитів	40
1.4. Особливості класифікації та аналіз конструкцій меблевих щитів	43
1.5. Аналіз джерел літератури з дослідження формостійкості меблевих щитів з деревини різних порід	50
1.6. Аналіз методів та рекомендацій науковців з прогнозування формостійкості щитових виробів з деревини	55
1.7. Обґрунтування проблеми формостійкості меблевих щитів та аналіз напрямів зменшення величини відхилення від площинності	58
1.8. Висновки, мета, завдання та загальна методика досліджень	61
2. РОЗДІЛ 2. ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКА ФОРМОСТІЙКОСТІ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ ІЗ ДЕРЕВИНИ БУКА ЗВИЧАЙНОГО (FAGUS SYLVATICA L.) РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ	67
2.1. Розроблення конструкцій меблевого щита із деревини бука звичайного на основі визначальних вхідних компонентів	67

2.2. Моделювання характеристик складових елементів в конструкції меблевого щита з використанням методу скінченних елементів	70
2.3. Обґрунтування достовірності теоретичних розрахунків за розробленим аналітичним апаратом деформацій меблевих щитів з використанням методу скінченних елементів з результатами експериментальних досліджень	76
2.4. Побудова математичних моделей прогнозування формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного	82
2.5. Висновки до розділу	87
3. РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗДЕФЕКТНИХ ДІЛЯНОК СОСНОВИХ ТА БУКОВИХ ЛАМЕЛЕЙ НА ФОРМОСТІЙКІСТЬ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ	90
3.1. Загальна методика експериментальних досліджень формостійкості меблевих щитів	90
3.1.1. Характеристика матеріалів та методів, прийнятих для дослідження	90
3.1.2. Опис методу дослідження на формостійкість – розрахунок відхилень від площинності експериментального меблевого щита	91
3.2. Дослідження показника формостійкості меблевих щитів із деревини сосни	93
3.2.1. Методика дослідження меблевих щитів із деревини сосни	93
3.2.2. Методика виготовлення меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (<i>Pinus sylvestris</i>) різних конструкцій	94
3.2.3. Методика порівняльного аналізу показників формостійкості меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни	96

звичайної (<i>Pinus sylvestris</i>) різних конструкцій	
3.3. Дослідження показника формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного	96
3.3.1. Методика реалізації композиційних планів для виготовлення меблевих щитів із деревини бука	96
3.3.2. Методика виготовлення меблевих щитів із деревини бука	98
3.3.3. Методика порівняльного аналізу показників формостійкості експериментальних меблевих щитів із бука звичайного (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	100
3.4. Висновки до методичного розділу	100
4. РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ ФОРМОСТІЙКОСТІ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ З ДЕРЕВИНИ РІЗНИХ ПОРІД	103
4.1. Дослідження показника формостійкості меблевих щитів із деревини сосни звичайної (<i>Pinus sylvestris</i>)	103
4.1.1. Залежність показника формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини сосни від їх геометричних характеристик	103
4.1.2. Результати порівняльного аналізу показників формостійкості меблевих щитів із деревини сосни різних конструкцій	106
4.2. Дослідження показника формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного (<i>Fagus sylvatica</i> L.) за нормальних умов експлуатації	108
4.2.1. Залежність показника формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини бука звичайного (<i>Fagus sylvatica</i> L.) від їх геометричних характеристик	108
4.2.2. Результати порівняльного аналізу показників формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	111

різних конструкцій	
4.2.3. Залежність показника формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини бука звичайного (<i>Fagus sylvatica</i> L.) від характеристик ламелі	113
4.2.4. Результати порівняльного аналізу показників формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного (<i>Fagus sylvatica</i> L.) різних конструкцій	116
4.2.5. Оптимізація математичних моделей щодо впливу змінних факторів на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій	118
4.2.6. Встановлення закономірностей впливу змінних факторів на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій	119
4.3. Обґрунтування достовірності теоретичних розрахунків за розробленими математичними моделями з результатами експериментальних досліджень	123
4.4.1. Порівняльний аналіз величин стріл прогину до загальної площини МЩ за експериментом та за моделлю відносно величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, та прийнятої ширини	123
4.4.2. Порівняльний аналіз величин формостійкості, одержаних за математичною моделлю та експериментом стосовно монолітності ламелей	128
4.4.3. Порівняльний аналіз величин формостійкості, одержаних за математичною моделлю та експериментом стосовно схем укладання	133
4.5. Висновки до експериментального розділу	138
5. РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ РОЗМІРНО-ПРИДАТНИХ БЕЗДЕФЕКТНИХ	143

ВІДРІЗКІВ ІЗ РІЗНОЇ СИРОВИНИ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОШТОРИСУ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ ЗАПРОПОНОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ	
5.1. Математична модель розрахунку економічної ефективності процесу виготовлення бездефектних відрізків для меблевих щитів різної конструкції	143
5.1.1. Розроблення математичної моделі економічної ефективності одержання бездефектних відрізків із різної сировини	143
5.1.2. Опис впливу технологічних складових на загальний показник економічної ефективності	146
5.2. Розрахунок кошторису виробничої собівартості традиційних меблевих щитів та меблевих щитів із залишків деревини різних конструкцій	148
5.3. Розрахунок економічного ефекту розрахункової вартості меблевих щитів від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості	150
5.4. Висновки до економічного розділу	153
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	156
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	161
ДОДАТКИ	181

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

МЩ – меблевий щит;

ЩД – щит дерев'яний;

КЩК – клеєна щитова конструкція;

ДСП – деревностружкова плита;

ДВП – деревноволокниста плита;

СП – столярна плита;

SWP – Solid wood panels;

SWP-1 – експлуатація МЩ у сухих умовах;

SWP-2 – експлуатація МЩ у вологих умовах;

SWP-3 – експлуатація МЩ у атмосферних умовах;

MDF – Medium density fibreboard;

OSB – Oriented strand board;

CLT – Cross-Laminated Timber ;

LVL – Laminated Veneer Lumber;

LSL – Laminated Strand Lumber;

PSL – Parallel Strand Lumber;

Glulam – Glued Laminated Timber;

СНіП – будівельні норми і правила;

ПВА – полівінілацетат;

УР – поліуретан;

D3 – ступень навантаження клею всередині приміщень при частому короткочасному впливі води або підвищенні вологості повітря;

D4 – ступень навантаження клею зовні приміщень при захисті від тривалого впливу погодних умов;

CO₂ – вуглекислий газ;

МСЕ – метод скінченних елементів;

K_p – коефіцієнт ламелі (рейки), що характеризує відношення поперечних розмірів : товщина – ширина;

a – ширина ламелі (рейки);

h – товщина ламелі (рейки);

K_n – коефіцієнт величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, ($K_n=90^\circ/\alpha$);

α – кут нахилу річних кілець рейки до площини меблевого щита в процесі укладання;

K_y – коефіцієнт укладання ламелей у щити;

$K_{y(i)}$ – коефіцієнт укладання, що описується запропонованою схемою укладання ламелей у щити; ($i = 1, 2, 3, 4, 5$);

K_3 – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків у ламелі;

$K_{3(n)}$ – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків, що описується кількістю зубчастих з'єднань у ламелі ($n = 0, 1, 2, 3, 4$);

S_b – стріла прогину МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.);

S_c – стріла прогину МЩ із деревини сосни звичайної (*Pinus sylvestris*);

S_{pn} – стріла прогину МЩ, залежно від коефіцієнтів рейки та кутів нахилу;

S_8 – відхилення від площинності (стріла прогину) МЩ при $W=8\%$;

S_{30} – відхилення від площинності (стріла прогину) МЩ при $W=30\%$;

$B_{\text{тов}}$ – товщина ламелі МЩ, мм;

$B_{\text{шир}}$ – ширина ламелі МЩ, мм;

A_n – кут нахилу річних кілець ламелі до пласті МЩ;

$[B]$ – матриця жорсткості (податливості) або матриця пружних постійних;

$[B_{\text{МЩ}}]$ – матриця жорсткості (податливості, пружності), яка містить характеристики рейок МЩ відповідного укладання;

$[B_3]$ – матриця жорсткості (податливості, пружності), яка містить характеристики ламелей – монолітних або зрощених рейок МЩ;

ε – деформація – зміна розмірів під час навантаження;

ε_0 – початкові деформації;

$\{\varepsilon\}$ – вектор деформацій;

$\{\varepsilon_0\}$ – вектор початкових деформацій;

$\{\varepsilon_{\text{МЩ}}\}$ – вектор деформацій монолітних рейок МЩ;

$\{\varepsilon_3\}$ – вектор деформацій зрощених рейок МЩ;

$\{\varepsilon_{MЩ(i)}\}$ – вектор деформацій ламелей МЩ i -го способу укладання;
 $\{\varepsilon_{0MЩw(i)}\}$ – вектор вологісних деформацій МЩ i -го способу укладання;
 $\{\varepsilon^*_{MЩ\sigma(i)}\}$ – вектор пружних деформацій у глобальній системі координат;
 $\{\varepsilon^*_{0MЩw(i)}\}$ – вектор вологісних деформацій у глобальній системі координат;
 σ – напруження – відношення прикладеної сили до площі перерізу або величина, що змінюється від дії зовнішніх чинників, зокрема вологи чи температури;
 σ_0 – початкові напруження;
 $\{\sigma\}$ – вектор напружень;
 $\{\sigma_0\}$ – вектор початкових напружень;
 $\{\sigma_{MЩ}\}$ – вектор напружень монолітних рейок МЩ;
 $\{\sigma_z\}$ – вектор напружень зрощених рейок МЩ;
 μ – коефіцієнт Пуансона – коефіцієнт поперечної деформації (КПД);
 μ_{ra} – в радіальному напрямку КПД при стиску вздовж волокон;
 μ_{ta} – в тангентальному напрямку КПД при стиску вздовж волокон;
 μ_{ar} – вздовж волокон при стисненні КПД в радіальному напрямку;
 μ_{tr} – в тангентальному напрямку КПД при стисненні в радіальному напрямку;
 μ_{at} – вздовж волокон при стисненні КПД в тангентальному напрямку;
 μ_{rt} – в радіальному напрямку КПД при стисненні в тангентальному напрямку;
 G – модуль зсуву;
 G_{ra} – модуль зсуву в площині радіального розрізу;
 G_{ta} – модуль зсуву в площині тангентального розрізу;
 G_{rt} – модуль зсуву в радіальній або тангентальній площині;
 E – модуль пружності за короткотривалої дії навантаження при статичному згині;
 E_l – модуль пружності за короткотривалої дії навантаження при стиску вздовж волокон;
 E_r – модуль пружності за короткотривалої дії навантаження при стиску впоперек волокон в радіальному напрямку;
 E_t – модуль пружності за короткотривалої дії навантаження при стиску впоперек волокон в тангентальному напрямку;

W – вологість деревини;

W_0 – вологість деревини в абсолютно сухому стані;

W_{II} – початкова вологість деревини;

W_K – кінцева вологість деревини;

$W_{(j)}$ – початкова вологість j -ї ламелі МЩ i -го способу укладання;

$W_{0(j)}$ – кінцева вологість j -ї ламелі МЩ i -го способу укладання;

ΔW – діапазон зміни вологості деревини;

K_l – коефіцієнт розбухання (всихання) в поздовжньому напрямку;

K_r – коефіцієнт розбухання (всихання) в радіальному напрямку;

K_t – коефіцієнт розбухання (всихання) в тангентальному напрямку;

K_v – коефіцієнт розбухання (всихання) об'ємний;

α_l – максимальне розбухання (всихання) в поздовжньому напрямку;

α_r – максимальне розбухання (всихання) в радіальному напрямку;

α_t – максимальне розбухання (всихання) в тангентальному напрямку;

α_v – максимальне об'ємне розбухання;

θ_j – кут між осями циліндричної та глобальної систем координат;

ЗД – залишки деревини;

ПД – первинна деревина;

$EE_{\text{МЩ}}$ – показник економічної ефективності;

e_i – часткова $EE_{\text{МЩ}}$ на окремих технологічних процесах, які передбачають зменшення/збільшення грошових витрат, що пов'язано із вхідними деревинними надходженнями, %%;

$V_{\text{ЗД}_y}$ – вартість ЗД на місцях утворення, грн;

$V_{\text{ЗД}_z}$ – вартість ЗД на місцях збирання, грн;

$V_{\text{ЗД}_n}$ – вартість ЗД за логістику до місць накопичень, грн;

$V_{\text{ЗД}_c}$ – вартість ЗД за розмірно-якісне сортування, грн;

$V_{\text{ЗД}_p}$ – вартість ЗД за специфікаційний розкрій, грн;

$V_{\text{ЗД}_v}$ – вартість ЗД за сушіння до відповідної вологості, грн;

$V_{\text{ПД}_y}$ – вартість ПД на місцях заготівлі, грн;

$V_{\text{ПД}_z}$ – вартість ПД на місцях збирання, грн;

$V_{\text{ПДп}}$ – вартість за логістику до місць накопичень, грн;

$V_{\text{ПДс}}$ – вартість за розмірно-якісне сортування, грн;

$V_{\text{ПДр}}$ – вартість за специфікаційний розкрій, грн;

$V_{\text{ПДв}}$ – вартість за сушіння до відповідної вологості, грн.

R^2 – коефіцієнт детермінації;

n – об'єм вибірки (кількість проведених вимірювань);

M_{min} – мінімальне значення;

M_{max} – максимальне значення;

\bar{M} – середнє арифметичне значення;

$\pm m$ – помилка середнього арифметичного значення;

σ^2 – дисперсія вибірки;

S – середнє арифметичне відхилення вибірки;

V – коефіцієнт варіації;

P – коефіцієнт точності досліду;

$\bar{M} \pm m$ – середнє арифметичне значення та його помилка.

Рейка – 1) у деревообробці: брусок деревини малого перерізу; 2) у виробництві меблевих щитів: бездефектний відрізок деревини (монолітна ламель), отриманий шляхом вирізання дефектів на лінії оптимізації;

Ламель – у виробництві меблевих щитів: зрощені бездефектні відрізки деревини – зрощена ламель, яка отримана шляхом склеювання на зубчастий шип бездефектних відрізків деревини, вирізаних на лінії оптимізації.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. У теперішній час деревообробна та меблева галузь ефективно розвивається та почесно займає своє місце серед провідних виробничих потужностей. Використовуючи на виробничих площах сучасні обробні центри, прогресивне пресове та інше обладнання, а також автоматизовані гнучкі виробничі модулі, виробники створюють ексклюзивні меблеві вироби, що забезпечують зручні умови як для роботи, так і для відпочинку. Деревообробна та меблева галузь – основа для загальноприйнятого рівня життя й комфорту, що виражається шляхом використання сучасних меблевих виробів, сформованих із різних конструкційних матеріалів, у тому числі щитових. Одним з основних конструкційних матеріалів меблевої галузі на сьогодні, незважаючи на появу нових деревнопохідних матеріалів, залишаються вироби на основі меблевого щита. Це, в першу чергу, пов'язано з попитом на продукцію з природного екологічно-чистого матеріалу з якісним зовнішнім виглядом поверхні, як для формування корпусів виробів, так і для створення фасадних поверхонь.

Однією з основних визначальних характеристик клеєних щитів, окрім економічності, естетичності, є відповідність основному технологічному показнику як формостійкість. Формостійкість меблевих щитів здебільшого характеризують показниками прямолінійності, площинності та величиною всихання і розбухання, які залежать від впливу експлуатаційних факторів та постійних пружності: модулів пружності, модулів зсуву та коефіцієнтів поперечної деформації певної породи деревини, використаної для виготовлення конструкційного щитового матеріалу. Розроблення нових конструкцій меблевих щитів із монолітних та/або зрощених рейок, визначення їх основних параметрів та прогнозування величин стріл прогину з врахуванням властивостей ламелей на застосуванні розробок теорії пружності та можливостях чисельних методів є базою до розроблення практично дієвих рекомендацій для стабілізації допустимих відхилень щитових клеєних

конструкцій – забезпечення допустимої стріли прогину з врахуванням впливу температурно-вологісних факторів.

Актуальність та першочерговість досліджень – брак теоретичних та експериментальних розробок щодо отримання формостійких щитових конструкцій. Вирішення поставленої проблеми ускладнюється особливостями характеристик бездефектних відрізків – монолітних чи зрощених ламелей, що за неправильного укладання, може зумовити відхилення результатів прогнозування формостійкості одержаної продукції від допустимих значень, що недопустимо за умов площинності щитових конструкцій.

За даними аналізу джерел літератури визначено, що меблеві щити мають значні коливання стріл прогину поверхонь, що приводить до низької якості щитових конструкцій, тобто зміни формостійкості. Результати проведеного аналізу засвідчили, що актуальна наукова проблема, яка пов'язана із встановленням закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість МЩ різних конструкцій з прогнозованими характеристиками для використання у виробництві виробів з деревини, вирішена не повністю. Відсутність системного підходу до її вирішення в умовах існуючої та апріорної невизначеності процесів підготовки ламелей залежно від пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина), від величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, від кількості зрощених бездефектних відрізків в одній ламелі, а також способів укладання рейок в конструкціях виробів вказує на необхідність проведення досліджень.

Отже, створення науково-методичних основ із встановлення закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових монолітних та зрощених ламелей на формостійкість меблевих щитів та пропонування дієвих практичних рекомендацій, що мають експериментальне підґрунтя, є актуальною науково-технічною проблемою сьогодення – підвищення якості, зокрема допустимого відхилення від площинності різних конструкцій з прогнозованими значеннями стріл прогину,

що безперечно має важливе наукове та велике практичне значення для застосування в галузі деревообробки.

Зв'язок роботи з науковими напрямками. Дисертаційна робота відповідає напрямку наукової діяльності кафедри технології меблів та виробів з деревини, та пов'язана з науковим напрямом інституту та університету НЛТУ України «Розроблення теоретичних основ створення енергоощадних і екологічнобезпечних технологій деревообробки, моделювання технологічних процесів, матеріалів і конкурентноздатних конструкцій виробів з деревинисучасного дизайну».

Мета дисертаційної роботи – встановлення закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій з прогнозованими характеристиками для використання у виробництві виробів з деревини.

Завдання дисертаційної роботи:

- виконати огляд і аналіз сучасного стану проблеми – проаналізувати сучасні теоретичні та практичні дослідження в області технології виготовлення меблевих щитів;
- обґрунтувати та запропонувати методикау теоретичних та експериментальних досліджень для досягнення мети дисертаційної роботи;
- розробити модель для прогнозування фізико-механічних властивостей букової деревини на основі методу скінченних елементів меблевих щитів анізотропії постійних пружності;
- запропонувати нові конструкції меблевих щитів із деревини бука та сосни і розробити математичну модель прогнозування їх формостійкості, залежно від пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина), від величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, від кількості зрощених бездефектних відрізків в одній ламелі та від способу укладання рейок в конструкції виробу;
- експериментально визначити стріли прогину меблевих щитів із деревини бука та сосни залежно від характеристик рейок за звичайних умов експлуатації,

статистично розрахувати регресійні моделі та здійснити порівняння показників формостійкості з даними, що одержані за математичними залежностями;

- встановити закономірності впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій;

- розробити математичну модель розрахунку економічної ефективності процесу одержання меблевих щитів заданої формостійкості, визначити кошторис виробничої собівартості меблевих щитів з бездефектних ділянок соснових та букових ламелей та запропонувати практичні рекомендації для виробничих процесів зі створення щитових конструкційних матеріалів.

Об'єкт дослідження – меблевий щит з деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) та сосни звичайної (*Pinus sylvestris*).

Предмет дослідження – закономірності впливу характеристик складових елементів з деревини бука звичайного та сосни звичайної на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій з прогнозованими величинами прогину.

Методи дослідження. У роботі застосовано методи: фізичні та механічні – для визначення розмірів і показників фізико-механічних властивостей деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) та сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) та характеристик меблевого щита; планування експериментів – для розроблення регресійних моделей та їх аналізу; статистики – для опрацювання даних експериментальних досліджень.

Наукова новизна. Дисертаційна робота є працею, у якій вирішено актуальне наукове завдання із розроблення закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій з прогнозованими характеристиками, що підтверджено такими науковими результатами:

Вперше розроблено:

- модель фізичних властивостей букової деревини на основі методу скінченних елементів меблевих щитів на основі циліндричної системи координат анізотропії постійних пружності, яка дозволяє враховувати

особливості анізотропії характеристик вхідних компонентів, зокрема під час розбухання та всихання при зміні відносної вологості та температури, а також дає можливість підвищити формостійкість виробів, що знаходяться в умовах змінної вологості за рахунок раціонального вибору характеристик його конструктивних складових, їх геометричних і структурних показників, взаємного розташування в конструкції виробу;

- математичні моделі прогнозування формостійкості меблевих щитів. Зокрема, такі моделі дають змогу прогнозувати стрілу прогину цих щитів залежно від поперечних розмірів рейок, кута нахилу річних кілець до пласти щита та кількості зрощених бездефектних відрізків в одній ламелі і, на цій підставі, запропонувати нові конструкції меблевих щитів;

- математичні моделі деформативності меблевих щитів із деревини бука з почерговим укладанням рейок за кутами нахилу та з врахуванням кількості зрощених бездефектних відрізків в одній ламелі, використання яких забезпечить прогнозування формостійкості щитових конструкцій, а також дає змогу виявляти особливості та недоліки на стадії проектування виробу і виправляти їх шляхом раціоналізації укладання рейок;

- закономірності впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій;

- математичну модель розрахунку економічної ефективності процесу одержання меблевих щитів заданої формостійкості, використання якої дасть можливість прогнозувати перспективи розвитку підприємства, ефективно та швидко визначити кошторис виробничої собівартості меблевих щитів з бездефектних ділянок соснових та букових ламелей.

Удосконалено:

- конструкції меблевих щитів з деревини бука звичайного та сосни звичайної, в яких зазначено особливості підбору та укладання: для монолітних рейок шляхом встановлення оптимальної схеми компоновання річних шарів в суміжних рейках для забезпечення високих показників формостійкості при

одночасному зменшенні напружень, що виникають внаслідок зволоження деревини під час експлуатації; та для зрощених ламелей з бездефектних ділянок, що сприяє використанню залишків та усуває ресурсні перешкоди.

Отримали подальший розвиток:

- знання про фізичні властивості деревини бука та сосни, а також характеристики зрощених ламелей з бездефектних ділянок даних порід, використання яких дало змогу розробити математичні моделі для прогнозування показників формостійкості меблевих щитів.

Достовірність результатів і висновків базується на великій кількості експериментальних взірців меблевих щитів. Зібрані дані опрацьовано із використанням типового комп'ютерного забезпечення. Достовірність отриманих результатів та сформованих висновків підтверджується апробацією результатів на семінарах та різного виду конференціях, великою кількістю та збіжністю даних експериментів, а також несуперечністю отриманих даних з результатами інших вчених в галузі деревообробки.

Практичне значення отриманих результатів. Результати проведених досліджень дозволяють науково обґрунтувати та встановити закономірності впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій. Результати досліджень показників фізико-механічних властивостей монолітних та зрощених бездефектних відрізків з різною кількістю зубчастих з'єднань в ламелі з букової деревини дали можливість зрозуміти динаміку цих показників та наповнити нормативну базу даних. Обґрунтування та підбір характеристик рейок для меблевих щитів з деревини бука звичайного та сосни звичайної є визначальним для розроблення конструкцій та прогнозування формостійкості даних виробів. Отримані закономірності впливу пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) з деревини бука звичайного та сосни звичайної у МЩ на формостійкість дають змогу встановити раціональні схеми укладання рейок, застосовувати оптимальне співвідношення сторін у перерізі рейок для конструкцій плит. Експериментальне встановлення

суттєвого впливу величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ на формостійкість меблевих щитів стимулює та заставляє до виготовлення рейок з кутом нахилу більшим, ніж 45° , зокрема під час здійснення розпилювання колод. Розроблена модель фізичних властивостей букової деревини на основі методу скінченних елементів МЩ може бути використана для дослідження і оптимізації щитових клеєних конструкцій з монолітної деревини за умовами деформативності, зокрема деталей чи вузлових з'єднань.

Отримані результати впроваджено: у навчальний процес – НЛТУ України, зокрема у дисциплінах – «Технологія виробів з деревини», «Технологія меблевих виробів», «Перероблення залишків деревини» та інші (акт від 28.07.2023); у технологічні процеси підприємств : з виробництва МЩ – «ВГСМ» (акт від 03.08.2023); з виготовлення меблевих фасадів – «Явір» (акт від 04.08.2023).

Особистий внесок здобувача полягає в обґрунтуванні теми та втіленні гіпотези досліджень, формуванні мети та завдань, розробленні методики теоретичних та експериментальних досліджень, проведенні експериментів, статистичній обробці даних, побудові математичних моделей та виведенні рівнянь регресії, а також аналізі отриманих результатів та формуванні підсумкових висновків. Закономірності та практичні рекомендації виконані здобувачем самостійно. У спільній роботі [132] з керівником автору належить: аналіз джерел літератури, розробленні композиційного плану другого порядку для проведення експериментів, безпосереднє виконання досліджень, статистична обробка даних, аналіз результатів, висновки.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи апробовано на таких наукових заходах: «Особливості класифікації меблевих щитів згідно нормативних документів. Лісівництво, деревообробка та озеленення: стан, досягнення і перспективи» : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (22–23.11.2022 р. Харків: ДБТУ); наукових семінарах кафедри технології меблів та виробів з деревини

(2015-2022 рр., м. Львів, 2023 р.); розширеному засіданні кафедри технології меблів та виробів з деревини (м. Львів, 2023 р.); «Теоретичні та прикладні аспекти створення енергоощадних і екологобезпечних технологій деревообробки» (2015-2023 рр., Львів, НЛТУ України).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 6 наукових праць, у тому числі: 3 наукових статей у фахових виданнях України, 3 наукових статей у інших виданнях України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 206 сторінках (загальний обсяг дисертації), в тому числі 139 сторінок основного тексту, включає 66 рисунків, 33 таблиці, 6 додатків та 169 джерел літератури.

РОЗДІЛ 1.

1. СТАН, АНАЛІЗ ТА ПРОБЛЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ – ЩИТІВ МЕБЛЕВИХ З ДЕРЕВИННИХ РЕСУРСІВ

1.1. Стан, актуальність та проблеми, аналіз та динаміка деревинної сировини та обсягів виробництва щитових конструкційних матеріалів в Україні

У теперішній час деревообробна та меблева галузь ефективно розвивається та почесно займає своє місце серед провідних виробничих потужностей. Використовуючи на виробничих площах сучасні обробні центри, прогресивне пресове та інше обладнання, а також автоматизовані гнучкі виробничі модулі, виробники створюють ексклюзивні меблеві вироби, що забезпечують зручні умови як для роботи, так і для відпочинку. Деревообробна та меблева галузь, як основа для загальноприйнятого рівня життя й комфорту, що виражається шляхом використання сучасних функціональних меблевих виробів, працевлаштовуючи більше як половину усіх робітників деревообробної сфери.

До виробів з деревини відносяться вироби, що виготовляються повністю або в основному з деревини та деревних матеріалів: несучі, що огорожують конструкції та елементи будівель (наприклад, віконні блоки, дверні блоки,), меблі, корпуси теле- і радіоапаратури, музичні інструменти та багато іншого [36, 37, 49, 54, 68, 84, 85, 163, 167]. Вони характеризуються ретельним обробленням поверхні, точною пригонкою з'єднань і складальних одиниць.

Виробництво столярних та меблевих виробів є великим споживачем деревини та характеризується великими обсягами виробництва [119, 167]. Активізація житлового будівництва вимагає постачання великої кількості столярно-будівельних виробів, що відповідають дедалі більшим експлуатаційним вимогам. Міцність, надійність та довговічність столярних

виробів значною мірою залежить від правильного вибору розмірів деталей, елементів, їх з'єднань та застосування відповідних матеріалів [32, 49, 50,54, 78, 79, 80, 83, 98, 166].

Деревообробна та меблева галузь ефективно використовує як первинні та і вторинні деревинні ресурси – деревинні залишки різних виробництв, спожиту вживану деревину чим сприяє зменшенню навантаження на довкілля, покращуючи екологію навколишнього середовища [1-3, 38, 40, 41, 47, 52, 53, 55, 59, 62, 69, 89, 110, 119, 122-126, 134, 135, 155, 165]. Пов'язано це з тим, що вона функціонує завдяки відновлювальному природному ресурсу – деревині, що володіє ексклюзивними властивостями та неперевершеними характеристиками як для оброблення так і для зручного користування виробами. Тобто, існує дві проблеми – проблема деревинних ресурсів та проблема деревинних відходів, які постійно потрібно вирішувати.

Актуальність – забезпечення галузей деревооброблення альтернативним додатковим ресурсом шляхом утилізації та перероблення вживаної деревини та залишків на вироби з деревини [1-3, 7-12, 134]. Актуальна проблема сьогодення – це не розробленість ресурсощадних технологій з рекомендаціями щодо застосування основних та додаткових ресурсів різного гатунку багатьох порід для виробництва конструкційних клеєних матеріалів [40, 41, 47, 106, 110]. Необхідно зазначити, що фонд лісу в Україні становить 10,4 млн.га, лісистість – 15,9 %, запас деревини на рівні 2119 млн.м³ (рис. 1.1) [119].

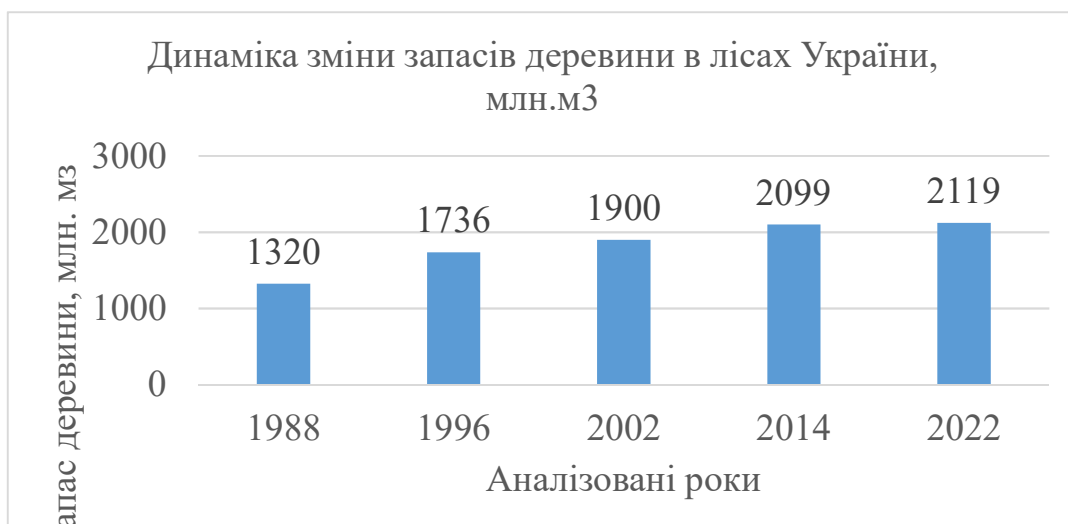


Рис. 1.1. Динаміка зміни запасів деревини в лісах України, млн.м³

Щорічні обсяги заготівлі деревини за останні 8 років подано, рис. 1.3, [119]. Зокрема, заготівля деревини за деревними породами (2015-2022) наведена у табл. 1.1.



Рис. 1.2. Динаміка заготівлі деревини в Україні, тис. м³

Таблиця 1.1.

Заготівля деревини за деревними породами (2015-2022) [119]

Породи	2015	2016	2017	2018	2019	2020 ²	2021	2022
Усього	21911,5	22602,3	21914,8	22529,7	20869,6	17826,2	17649,4	15934,3
Хвойні	14265,9	15020,1	14312,9	15197,7	13702,8	11575,9	10825,4	8876,1
сосна	10800,8	11692,7	11663,0	12565,9	11292,6	9782,1	9136,8	7368,6
ялина	2938,2	2834,7	2157,6	2191,0	1971,7	1753,1	1638,6	1449,1
інші хвойні	526,9	492,7	492,3	440,8	438,5	40,7	50,0	58,4
Твердолистяні	5807,2	5751,4	5698,1	5602,5	5602,8	4547,0	4813,6	5095,2
дуб	2959,6	2973,2	2803,4	2804,0	2979,0	1852,9	1833,5	1904,2
бук	1381,4	1313,9	1386,6	1268,9	1098,2	833,8	888,6	935,2
інші твердолист.	1466,2	1464,3	1508,1	1529,6	1525,6	1860,3	2091,5	2255,8
М'яколистяні	1821,4	1815,9	1891,8	1716,9	1543,7	1672,5	1971,8	1918,2
береза	779,3	736,3	801,4	689,1	647,7	604,9	692,0	693,8
осика	180,4	186,8	194,0	185,4	133,4	233,5	348,3	363,0
вільха	772,7	784,0	786,8	717,3	670,0	602,5	656,2	603,6
інші м'яколист.	89,0	108,8	109,6	125,1	92,6	231,6	275,3	257,8
Інші породи	13,9	12,5	11,8	9,3	18,6	30,8	38,6	44,8
Чагарники	3,1	2,4	0,2	3,3	1,7

Таким чином, маючи асортимент первинної деревини за породами, за якісними показниками, за призначенням, на підприємствах України здійснюється її перероблення з метою отримання відповідних плитних конструкційних матеріалів [21, 22, 36, 37, 56, 58, 64, 67, 119]:

- Меблеві щити – одношарові щитові вироби (Solid wood panels);
- ДСП – деревностружкові плити (Particleboard, of wood);
- ДВП – деревноволокнисті плити середньої щільності, товщиною до 5 мм.;
- MDF – ДВП плити середньої щільності, товщиною більше 5 мм.;
- OSB – Орієнтовано-стружкові плити з деревини;
- Фанера та фанерні плити;
- Шпон, листи для фанери, завтовшки до 6 мм.

Останні роки при виробництві меблів і будівельних конструкцій споживачі все частіше використовують для своїх потреб натуральну деревину [1-3, 29, 30, 60, 63, 65, 66, 167]. Щоб забезпечити міцність, договічність та якісні експлуатаційні характеристики необхідно відділити від пиляних дощок різноманітні дефекти. Отримавши бездефектні відрізки деревини, їх піддають клеюванню шляхом зрощування та поперечного склеювання (рис. 1.3), що в кінцевому результаті забезпечує нову форму – щит, та безперечно міцність та надійність конструкції [27, 28, 39, 93, 96, 115, 157-162].

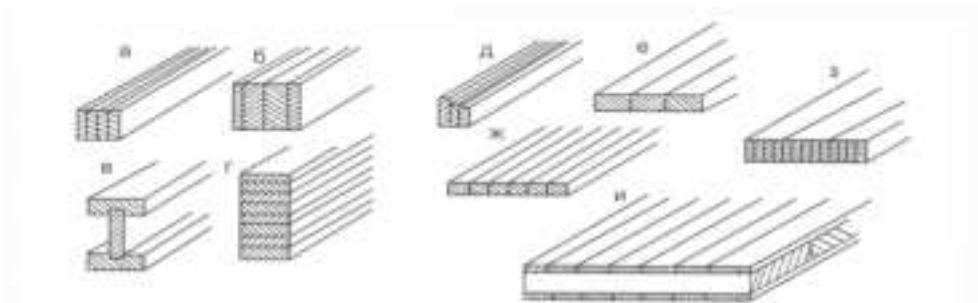


Рис. 1.3. Різновиди клеєних виробів: а – реброва склейка з однакових ламелей; б – реброва склейка з різних ламелей; в – склейка двотаврова з трьох елементів; г – склейка у вигляді потужної балки; д – брус з трьох ламелей для віконних рам; ж – меблеві щити із склеєних крайками ламелей; з – меблеві щити із склеєних пластами ламелей; и – багатошарові клеєні щитові конструкції

Одним з основних конструкційних матеріалів меблевої галузі на сьогодні, незважаючи на появу нових деревнопохідних матеріалів [4-6, 13-16, 23, 38, 65], залишаються вироби на основі меблевого щита [64, 73-78, 93-95, 101, 128-132]. Це, в першу чергу, пов'язано з попитом на продукцію з природного екологічно-чистого матеріалу з якісним зовнішнім виглядом поверхні деревини.

Розміри меблевих щитів, рис. 1.4 коливаються в межах: довжина: 2220...6000 мм; ширина: 500...1300 мм; товщина: 16... 40 мм.

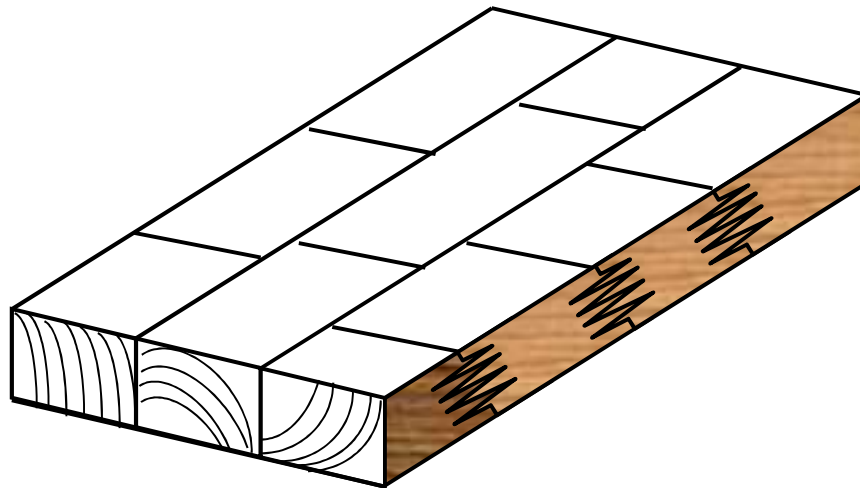


Рис. 1.4. Структура меблевого щита

Аналіз ринку щитових виробів з деревини показує, що багато вчених займалися вивченням характеристик деревинних ресурсів [34, 35, 42, 44, 48, 153, 154, 165-167], а застосування окремих порід з вишуканою текстурою у клеєних конструкціях зумовлює зростаючий попит на дану елітну щитову продукцію.

Перспективні тенденції розвитку деревообробної галузі, полягають у ефективній економічній співпраці з країнами ЄС, де постійно розглядаються питання створення сучасних деревинних плитних матеріалів, у тому числі меблевих щитів [1-3, 26, 29, 30, 47, 110, 113].

1.2. Аналіз технологічних аспектів під час виготовлення меблевих щитів

Доцільно та економічно необґрунтоване користування лісовими ресурсами призводить до явної нестачі деревини для вітчизняної

деревообробної промисловості [1-5, 7, 17-20, 24, 25, 53, 89, 94, 102, 106, 109, 122, 166]. Якісні вироби з цільної деревини цінних порід користуються великим попитом у населення, але придбати такі вироби може лише його незначна частина, тоді як для решти людей такі вироби є дорогавартісними і зазвичай недоступними. Цей споживчий фактор призводить до значного зменшення кількості потенційних покупців і стає досить значною проблемою для виробників.

Безперечно, ефективним та дієвим шляхом подолання цієї проблеми є впровадження в технологічний процес виготовлення виробів з деревини операції склеювання, що дає змогу раціонально переробляти низькосортну сировину в якісну продукцію. Склеювання короткомірних відрізків деревини, попередньо у рейки, а потім відповідно у блоки та щити, дає змогу зменшити втрати сировини та збільшити корисний вихід виробів з неї – переконані вчені Гайда С.В., Кривик О.О. та Маєвський В.О. [6, 10, 18, 45-51, 93-95, 101, 11-114, 128-132] Така продукція, окрім економії матеріалу, має ще одну цінність – вона не поступається міцністними характеристиками цільній деревині, а за окремими показниками, як-от за формостійкістю, значно перевищує її.

Як відомо, технологічно обґрунтоване використання склеювання у деревообробному виробництві підсилюється можливістю створення оригінального матеріалу, зокрема клеєних щитів, завдяки підбору у них заготовок за текстурою та забарвленням. Це дає змогу підвищувати привабливість зовнішнього вигляду як самих клеєних щитів, так і готових виробів, виготовлених з них. Сьогоднішній ринок меблевих виробів [119] перенасичений різноманітними полімерними та деревиннопохідними матеріалами, які частково витісняють з використання цільну деревину завдяки нижчій вартості, але вони не завжди можуть забезпечити потрібну якість, естетичність та екологічність виробу. Тому у виробництві столярно-меблевих виробів постає питання про створення нового, оригінального, економічно доступного та екологічно чистого матеріалу з належними фізико-механічними та технологічними властивостями, зокрема меблевого щита.

Мета зрощування описана в джерелах літератури [36, 37, 83, 111-113]:

- вирізання дефектів в рейках на лініях оптимізації;
- використання залишків деревини основного виробництва;
- уникнення жолоблення, пониження міцності від перерізання волокон, оскільки, при перерізанні волокон в деталі під кутом 15° зменшує її міцність при статичному згині на 16...18 %.

Поперечне склеювання зрощених за довжиною короткомірних ламелей здійснюють за шириною з метою одержання меблевого щита. Можливі варіанти поперечного зрощування представлені на рис. 1.5 [36, 37, 44, 45, 167].

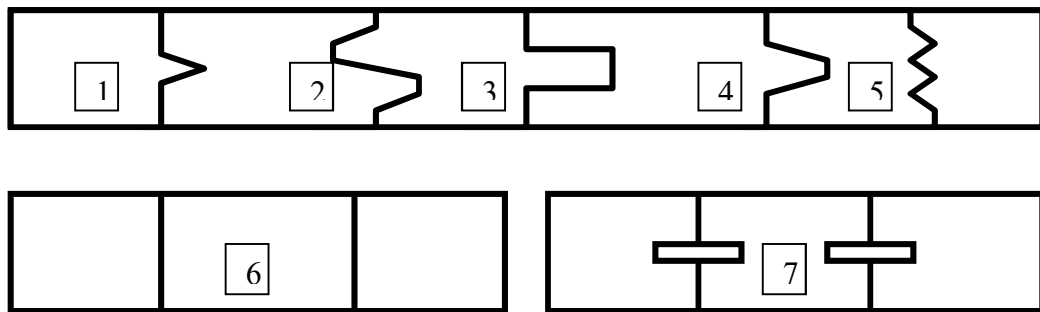


Рис. 1.5. Поперечне склеювання за шириною

Під час використання тангентальних рейок, але без належного укладання буде спостерігатись сильне пожолоблення [38, 56, 58, 66, 67, 93-96, 101]. При обдуманому укладанні, наприклад серцевина до серцевини формостійкість щитів буде в межах норми [38, 93, 101]. Детальний аналіз виробничих процесів під час виготовлення клеєних конструкцій показує, що з'єднання за шириною здійснюють за трьома схемами базування бездефектних відрізків (рис. 1.6).

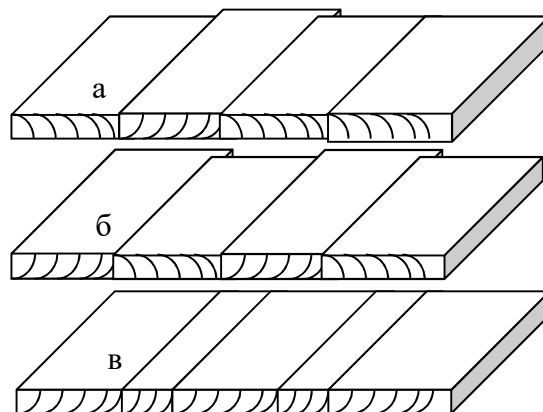


Рис. 1.6. Способи базування бездефектних відрізків деревини: а – крайками; б – за двома крайками і пластю ; в – за двома крайками і пластями

Загальна структура стадій технологічного процесу виробництва євробрусів та меблевих щитів в цеху, виражається в наступній формі [36, 37]:

1. Розкрій колод на дошки.
2. Розкрій дощок на рейки.
3. Підготовка бездефектних відрізків з деревини.
4. Формування ламелей (нарізання шипів, нанесення клею, зрощування).
5. Чотирибічне чистове фрезерування.
6. Процеси склеювання деталей у вузли – клеєні щитові конструкції.
7. Вторинна механічна обробка итів (обрізка, калібрування, шліфування).

Правильний підбір сучасного обладнання дозволить легко автоматизувати технологічний процес. Але вся проблема в тому, що асортимент цього обладнання є надзвичайно широким. Воно є досить різноманітним за конструктивними та технологічними властивостями. Основні типи обладнання для деревообробного цеху з виготовлення меблевого щита з аналізом його продуктивності представлено у табл. 1.2 [43, 117].

Операція торцювання для вирізання дефектів також займає ключове місце в технологічному процесі виготовлення клеєних заготовок. Вона може виконуватися торцювальними верстатами або на спеціальних лініях оптимізації (наприклад, італійської фірми Stromab; серії OptiCut-350 фірми GreCon; серії T920NC фірми Omega; серії CNC фірми Forma та ін.). Кожна із цих ліній дозволяє виконувати оптимізоване торцювання і видалення дефектів деревини.

Після етапу склеювання по довжині і відповідній технологічній витримці ламелі обробляють на чотирибічному поздовжньо-фрезерному верстаті. Перед склеюванням чистота обробки поверхонь повинна бути 32...200 мкм, відхилення товщини і ширини ламелей від основного значення не повинні перевищувати 0,1 мм. Для такої операції ідеально підходять вищенаведені чотирибічні верстати.

Після стругання ламелі подаються на ділянку склеювання, де вони повинні бути склеєні в щит не пізніше, ніж через 24 год. після стругання. Це

особливо важливо для порід багатих смолистими речовинами. Оптимальна температура в робочому приміщенні повинна складати 18...20 °С.

Особливої уваги заслуговує пресове обладнання для склеювання меблевих щитів. Воно може бути гарячого та холодного, площинного та роторного, вертикального та горизонтального пресування, з маятниковим режимом роботи для площинного пресування та круговим – для роторного.

Таблиця 1.2

Аналіз продуктивностей обладнання провідних фірм для зрощування ламелей та виготовлення меблевого щита

№	Обладнання	Фірма	Модель	Продуктивність
ПОЗДОВЖНЕ РОЗКРОЮВАННЯ				
1	В-т ділильний	Waco	BKW-Twin	10...80 м/хв
2	В-т багатопилковий	Raimann	ProfiRip-310 M	10...60 м/хв
3	В-т багатопилковий	GOMA	C-320	6...60 м/хв
4	В-т багатопилковий	Maschinenbau	MBS-90	6...30 м/хв
ЧОТИРИБІЧНЕ ФРЕЗЕРУВАННЯ				
1	В-т чотирибічний	Weinig	Unimat-3000	6...36 м/хв
2	В-т чотирибічний	GRIGGIO	G-22 Quadro	8...12 м/хв
3	В-т чотирибічний	Chang Iron	CM-747	5...20 м/хв
4	В-т чотирибічний	Paolini	RD-240	7...14 м/хв
ВИРІЗАННЯ ДЕФЕКТІВ				
1	Лінія оптимізації	GreCon dimter	OptiCut-350	50...70 різів/хв
2	Лінія оптимізації	GreCon dimter	OptiCut-150	40...50 різів/хв
3	Лінія оптимізації	Omga	T920NC	40...60 різів/хв
4	Лінія оптимізації	Forma	CNC-200/90	20...30 різів/хв
НАРІЗАННЯ МІКРОШИПІВ				
1	В-т шипорізний	GreCon dimter	HS-120	120 дет/хв
2	В-т шипорізний	GOMA	FC 10-KZ6	50 дет/хв
3	В-т шипорізний	Астра	СФ-АСТРА-СШ	40 дет/хв
4	В-т шипорізний	Горлушко КО	СШ120-2	40 дет/хв
ЗРОЩУВАННЯ ЛАМЕЛЕЙ				
1	Прес зрощувальний	GreCon dimter	Conti-M	8600 м.п./зм
2	Прес зрощувальний	GOMA	FC 10-PZ6	4800 м.п./зм
3	Прес зрощувальний	Горлушко КО	ПССТ6,75-20	3600 м.п./зм
4	Прес зрощувальний	Астра	ППС-АСТРА-П	3200 м.п./зм
ВИГОТОВЛЕННЯ МЕБЛЕВОГО ЩИТА				
1	Прес площинний	GreCon dimter	ProfiPress-2500	200...700 м ² /зм
2	Прес площинний	ORMA	LS-35/13	200...600 м ² /зм
3	Прес роторний	Stromab	SL-6/6000	200...500 м ² /зм

Для здійснення рівномірного розподілу вологи, що виділилася з клею по деревині і вирівнювання внутрішніх напружень склеєні щити перед подальшим обробленням необхідно витримати при температурі 15...20 °С.

Кінцевим етапом є чистове оброблення. При виготовленні клеєного щита воно звичайно складається з двох етапів. Перший – це обрізування торців клеєного щита. На другому етапі виконується видалення надлишків клею з виробу і чистове шліфування.

У процесі роботи над способами та процесами одержання меблевих щитів різних конструкцій детально проаналізовано статті, що мають відношення до даної тематики. Це такі праці: Кривика О.О. [93-95], Маєвського В.О. [101], Войтовича І.Г. [36, 37], Кійко І.О. [87, 88], Гайди С.В. [39, 44, 45, 61,] та інших. Обґрунтовано, що технологія та конструкція клеєних щитів із різних порід, із монолітних або зрощених ламелей, із кускових залишків деревини, із застосуванням різних способів укладання є не до кінця вивчена, так як варіантів виготовлення меблевих щитів є дуже багато та дослідники не пропонували універсальних конструкцій та технологій виготовлення клеєних щитів, що враховують величини кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, пропорційність розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина), варіанти оптимального укладання, вплив кількості зубчастих з'єднань в ламелі та інші моменти. Необхідно зазначити, що для підсилення естетичності клеєних щитів та зменшення їх собівартості без зниження фізико-механічних властивостей вченими Кривик О.О. та Маєвським В.О. [93, 95] запропоновано варіант виготовлення клеєних щитів з поєднанням в одному щиті різних порід деревини. Оригінальність запропонованого матеріалу зумовлена поєднанням у клеєних щитах рейок з різних порід деревини, відповідно з різних фізико-механічних властивостей, визначальними з яких у цьому випадку є текстура, колір та блиск. З економічного погляду доцільність виготовлення таких щитів обґрунтовується поєднанням у одному щиті деревини цінних та малоцінних порід, завдяки чому частково знижується їх собівартість. Саме тому виготовлення клеєних щитів з поєднанням різних порід

деревини є напрямком перспективним, але потребує більш ґрунтовного дослідження особливостей поєднання рейок різних порід у клеєний щит з урахуванням необхідності дотримання належних фізико-механічних та технологічних властивостей щитів, зокрема їх формостійкості.

Таким чином, розглянуто особливості склеювання бездефектних відрізків за довжиною в ламелі та відповідно монолітні або зрощені рейки в одношарові клеєні конструкції – меблеві щити. Проаналізовано технологічний процес виготовлення меблевих щитів на основі використання сучасного обладнання. Охарактеризоване вище обладнання дозволить вітчизняним виробникам виготовляти досконалі меблеві вироби, що відповідають найвищим світовим стандартам якості і дизайну. Використання меблевиками меблевого щита – це панацея від неможливості виконання вигідного замовлення, для виготовлення якого необхідно багато довгих чистих (без дефектів) дощок, брусків без сучків та інших дефектів, або того ж замовлення, терміни виконання якого визначені як гранично жорсткі. Виготовлення меблевих виробів та деталей інтер'єру з клеєного щита – це найпередовіша технологія, що дозволяє забезпечити виробу з натуральної деревини максимальні: формостійкість, міцність і довговічність. У найближчому майбутньому замовник, розібравшись в тому, що вироби з клеєного щита є не тільки естетичніші, а й міцніші й довговічніші за масив, змушений буде перейти на виробництво виробів з натуральної деревини тільки з такого напівфабриката. Тому розроблення практичних рекомендацій для виготовлення якісних МЩ із різних порід, які б регламентували вплив розмірних характеристик бездефектних ділянок, зокрема соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів є першочерговим завданням та актуальною проблемою, що потребує оперативного вирішення.

1.3. Аналіз нормативної бази щодо вимог до меблевих щитів

Серед діючих державних стандартів в Україні щодо МЩ є наступні [73-78]: ДСТУ EN 13353:2009, ДСТУ EN 13353:2022, ДСТУ EN 13354:2009, ДСТУ

EN 13017-1:2004, ДСТУ EN 13017-2:2004, ДСТУ EN 12775:2004. Європейські аналоги стандартів щодо меблевих щитів є наступні:

- EN 12775:2004. – Solid wood panels – Classification and terminology, 7 p.
- EN 13017-1:2004. – Solid wood panels – Classification by surface appearance – Part 1: Softwood, 8 p.
- EN 13017-2:2004. – Solid wood panels – Classification by surface appearance – Part 2: Hardwood, 5 p.
- EN 13354:2009. Solid wood panels – Bonding quality – Test method, 10p.
- EN 13353:2008. – Solid wood panels (SWP) – Requirements, 13 p.
- EN 14080:2019. Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements, 10 p.

Також існують технічні умови на щити [157-162]:

- ТУ У 16.2-38695456-001:2017. Щити меблеві. Технічні умови.
- ТУ У 16.2-43497598-001:2020. Щити меблеві. Технічні умови.
- ТУ 5366-001-77057246-2007. Клеєні щити із масивної деревини. Технічні умови.
- ТУ 5366-002-47828137-2009. Щити клеєні меблеві (столярні).
- ТУ 5367-001-01250041-99. Клеєні щити із масивної деревини. Технічні умови.
- ТУ СТО 77511573-01-2006. Брус дерев'яний клеєний стіновий. Технічні умови.

У деревообробній галузі країн східної Європи, в тому числі і Україні, загальнопоширеною ужитковою назвою клеєного щита з натуральної деревини є термін “меблевий щит” хоча згідно прийнятої класифікації за ДСТУ EN 12775:2004 такий матеріал називаються “щит дерев'яний”. Іншими популярними назвами цього конструкційного матеріалу є “щит з масивної деревини”, “єврощит” та можливі інші назви. Термін “меблевий щит” згідно європейської класифікації за DIN EN 12775:2001 – “Solid wood panels”

Якість меблевих щитів визначають згідно DIN EN 13017-1:2000 (ДСТУ EN 13017-1:2004) та DIN EN 13017-2:2000 (ДСТУ EN 13017-2:2004). Меблеві

щити шпилькових порід поділяють на 5 класів якості поверхні (0, А, В, С, S), листяних порід – на 3 класи (А, В, С). Якість визначають по кращій стороні, а при маркуванні вказують дві сторони – лицеву та зворотну (для прикладу А/В).

В технології деревообробки, щитами називають плоскі вироби із клеєної деревини, які можуть бути личковані або не личковані. Тому, окрім меблевих щитів, розрізняють паркетні щити, тахляні щити, столярні щити (плити), щити із рейковим, із стільниковим, із стружковим чи спеціальним заповненнями, пустотілі щити.

Меблеві щити є різноманітністю сучасного різноманіття прогресивних дерев'яних клеєних матеріалів, до яких, окрім них, відносять клеєні шаруваті бруси із тонких ламелей (Glulam), бруси з листів шпону (LVL), бруси із смуг шпону (PSL), двотаврові балки (I-joist), бруски віконних рам та інші.

У США поширені щити типу CLT, LVL, LSL. За конструкцією та технологією виробництва меблеві щити (SWP) схожі із CLT-панелями (EN 16351:2013), які також вперше з'явилися в Німеччині та Австрії та стали досить популярними в наш час. Відмінність між ними полягає в технологічних параметрах та функціональному призначенні, а саме: меблевий щит — матеріал із ламелей для створення корпусних виробів, а CLP – це уже готова клеєна конструкція яка може досягати до 20 м за довжиною, призначена для будівництва дерев'яних будинків, з уже готовими отворами для віконних та дверних проїомів та отворами для комунікацій.

Тобто за даними нормативних документів виготовляють різні щитові конструкційні клеєні матеріали, де описано вимоги до умов виготовлення та експлуатації.

Серед клеєних поширених матеріалів є: клеєні щити [157-162], щити дерев'яні [73-78].

Вимоги в нормативних документах:

- Допустима величина стріли прогину за EN 13353:2009 [76], зокрема для щитів розмірів 500×500 мм становить 0,5 мм;

- Якість поверхні за DIN EN 13017-1:2000 (ДСТУ EN 13017-1:2004) та DIN EN 13017-2:2000 (ДСТУ EN 13017-2:2004). [74, 75].

Таким чином, зроблено детальний аналіз нормативних документів на меблевi щити. Проаналізовано нормативну базу на меблевi щити, зокрема наступні документи: ДСТУ EN 12775:2004. (EN 12775:2001, IDT), ДСТУ EN 13017-1:2004, ДСТУ EN 13017-2:2004, ДСТУ EN 13354:2009, ДСТУ EN 14080:2013, ДСТУ EN 13353:2009, ДСТУ EN 13353:2022.

1.4. Особливості класифікації та аналіз конструкцій меблевих щитів

Згідно нормативного документу щодо класифікації та термінології ДСТУ EN 12775:2004 [73] (рис. 1.7), за структурою дерев'яний щит буває двох видів: одношаровим (single-layer solid wood panel) та багатошаровим (multi-layer solid wood panel) із шпилькових, листяних та з поєднанням порід. Одношаровий щит формується з відрізків (ламелей) склеєних на крайку за шириною, а багатошаровий – складається з кількох (як правило 3; 5) тонких шарів (пластів / пластин), розміщених симетрично, відносно центральної осі щита із взаємно перпендикулярним напрямком волокон ламелей у суміжних шарах.

Щити виготовляють двох типів: із відрізків з розрізами (із ділянок зістикованими по довжині) типу “SC” – щити із зрощених за довжиною ламелей; та відрізків без розрізів по довжині типу “NC” – щити із цільних (монолітних) ламелей фіксованої довжини. Ще одним особливим конструкційним видом одношарового зрощеного щита є щит у якого ламелі склеюються по ширині пластями до середини та крайками на лицеву поверхню щита, при цьому на поверхні видно зубчастий профіль зрощених ділянок. Такий щит часто виготовляють у випадку, коли існує необхідність із тонких заготовок отримати щит більшої товщини або для спеціальних цілей.

Цікавим є той факт, що стандарт ДСТУ EN 12775:2004 використовує термін “відрізки деревини”, які можуть бути розрізаними або не розрізаними по довжині, а ламелями також називають тонкі смуги деревини товщиною 3...10

мм і шириною більше 25 мм, хоча для меблевого щита в загальнопоширеному значенні під зістикованими та незістикованими відрізками розуміють саме щити із зрощених або цільних ламелей, які за своїм зовнішнім виглядом більше нагадують дерев'яні бруски чи рейки. Зрощення ділянок у ламель за довжиною найчастіше відбувається торцевим з'єднанням на зубчастий міні-шип (довжина 5 мм), або міді-шип (10 мм), що дозволяє значно економити якісну деревину при склеюванні. Інколи відрізки з'єднують дерев'яними нагелями, і вкрай рідко склеюються за довжиною стиковим плоским з'єднанням торець в торець, що значно знижує міцність матеріалу.



Рис. 1.7. Щити дерев'яні. Класифікація та термінологія (ДСТУ EN 12775:2004)

По ширині ламелі найчастіше з'єднують на гладку фугу (в стик), хоча з метою покращення міцнісних властивостей та формостійкості і ліквідації тріщин, можуть використовуватися і інші типи з'єднань, такі як на вставну рейку, на шкантах, в чверть, шпунт і гребінь різних профілів (прямокутний, асиметричний, конічний, трапецевидний), а також зубчасте з'єднання. Однак недоліком не гладких типів з'єднань є те, що можуть виникнути щілини у

приляганні ламелей одна до одної. Склеювання по-пласті за товщиною у багатошарових щитах відбувається на гладку фугу, однак з метою отримання багатошарових щитів спеціального призначення може використовуватися і пластеве зубчасте з'єднання. При склеюванні використовують полівінілацетатні (ПВА) або поліуританові (УР) клеї із ступенем навантаження D3 та D4 згідно DIN EN 204:2001 (ДСТУ EN 204:2014).

Меблеві щити за якістю поверхні можуть бути із підбраною текстурою, без підбору текстури оздобленими різними матеріалами (личковані, ламіновані, фанеровані, покриті лаками, оліями і т. д.), а за наявності операції оброблення поверхні можуть бути необробленими та шліфованими (каліброваними).

У Європі та світі для визначення якості щита за зовнішнім виглядом деревини широко використовують німецькі стандарти DIN EN 13017-1:2004 та DIN EN 13017-2:2004, на основі яких розроблені власні нормативні документи європейських держав, які дублюють основні з додаванням національних аббревіатур, зокрема OENORM (Австрія), BS (Велика Британія), NS (Норвегія), СТБ (Білорусь) та ДСТУ в Україні (ДСТУ EN 13017-1:2004 та ДСТУ EN 13017-2:2004).

Також, у деяких країнах широко використовують і інші нормативні документи, зокрема ТУ 00276475.412-1997 та ТУ 16.К03.44-2005. Звісно, що такі підприємства не можуть орієнтуватися на експорт своєї продукції, а лише для внутрішнього ринку.

Стосовно США, то при виготовленні меблевих щитів країна широко використовує європейські нормативні документи, а самі стандарти США розробляються для інших матеріалів структурних композитних матеріали CLT, LVL, LSL, фанери (plywood), клеєного бруса типу glulam та ін.

Отже, відповідно до ДСТУ EN 13017-1:2004 шпилькові меблеві щити поділяють на п'ять класів сортності – 0, А, В, С, S , а ДСТУ EN 13017-2:2004 встановлює 3 класи якості поверхонь листяних дерев'яних щитів.

Якість завжди визначають по кращій поверхні щита, яку вказують в специфікації, але при маркуванні позначають обидві сторони (спочатку лицеву а потім зворотну), для прикладу А/В, В/В, А/С, та інші поєднання.

Шпилькові щити класу S використовують у будівництві для допоміжних робіт і, як правило, не поєднуються з вищими класами якості, оскільки не потребують високих вимог до якості поверхні.

Ширина ламелей шпилькових порід повинна бути до 180 мм, за винятком крайніх ламелей, а довжина ділянки зрощених ламелей для шпилькових і листяних порід повинна бути не менше 150 мм.

Згідно EN 13353:2003, дерев'яні щити можуть використовуватися в якості конструкційних матеріалів або для загальних цілей у сухих (SWP1), вологих (SWP2) та в атмосферних умовах (SWP3).

Клас 1 (SWP1) – це приміщення з температурою експлуатації + 20°C та відносній вологості повітря 65%, без ризику потрапляння води на поверхню щита, клас 2 (SWP2) – житлові та нежитлові приміщення з температурою внутрішнього середовища +20°C та відносною вологістю повітря 85%, що дозволяє використання матеріалу в умовах короткотермінового впливу води та клас 3 (SWP3) – експлуатація за межами приміщень в атмосферних умовах без накриття з прямим попаданням опадів та сонячного проміння.

Щодо розмірів, дерев'яні щити виготовляють великих розмірів завдовжки понад 3 м і завширшки понад 1 м, середніх розмірів довжиною до 3 м та шириною до 1 м та спеціальних розмірів згідно домовленостей зі споживачем.

Найбільш вживаними конструкціями меблевих щитів є одношарові щити товщинами 18 (20) мм, 28 (27, 30) мм, та 38 (40) мм. із зрощених ламелей за довжиною та шириною ламелей від 25 до 60 мм.

У працях Кривик О.О. [93-95] та Маєвського В.О. [101] описано вплив температури та вологи на показники площинності та прямолінійності щитів як для типових конструкцій так і конструкцій з різних порід деревини [93].

Як відзначає дослідник Гайда С.В. [44-46, 59] суттєвий вплив на формостійкість щитових конструкцій, отриманих шляхом склеювання

підготовлених ламелей на гладку фугу має величина кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ та пропорційність розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина).

Пропозиція щодо ширини ламелей описана у праці Маєвського В.О. і Беняха Ю.В. [101], у котрій зазначено, що ширина ламелей має бути 40 мм з величиною кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ 68° . А рекомендації професора Войтовича І.Г. [36, 37] щодо пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) 1: 2,2. Згідно ДСТУ DIN 68705-2:2014-10 ширина рейок пропонується не меншою 30 мм при товщині щита 16 мм. У виробництві використовують ламелі шириною від 40 до 80 мм. Із наведеного аналізу випливає, що формостійкістю меблевих щитів із монолітних та зрощених рейок для конкретних порід (сосни та буку) детально ніхто не займався, тому застосування чисельних методів для моделювання формостійкості меблевих щитів дасть змогу прогнозувати величину стріли прогину, що актуально для практичної виробничої діяльності.

Окрім того, меблеві щити володіють цілим переліком переваг над цільною деревиною, а саме – кращою міцністю, формостійкістю та можливістю виготовлення деталей більших розмірів. Також, меблеві щити, як і інші матеріали на основі деревини, легко піддаються ремонту, є екологічними (зв'язують молекули CO_2 у виробі [1-3, 26, 38, 47, 106, 110]), та можуть поєднуватися з іншими матеріалами такими як пластик, метал, граніт, мрамур.

Поряд з перевагами меблеві щити мають і недоліки, основними серед яких є торцеві тріщини в місцях склеювання, особливо на торцях щита, ділянки непроклеювання ламелей, формозмінність в процесі експлуатації та неоднорідність текстури за кольором.

Стан у процесах одержання конструктивних елементів:

- деревина – основний конструкційний матеріал для створення різних типів та видів меблевих виробів;
- максимальний переріз заготовок у меблевому виробництві – 50×90 мм;
- рекомендовано брати суцільні заготовки не ширші, ніж 90 мм.

Проблема монолітних заготовок:

- під дією вологи та температури – деталі піддаються жолобленню;
- деформації приводять до зміни форми та появи тріщин;
- нерівномірність щільності у зонах деталі зумовлює нерівномірне усихання;
- наявність завилькуватої деревини – не прямолінійність волокон [108] ;
- вплив місць проростання на властивості деревини [152] ;

Вирішення проблеми – склеювання:

- за шириною – змикання брусків по крайці має бути протилежним напрямку їх жолоблення;
- за товщиною – склеювати поверхні – ядрові до ядрових, периферійні до периферійних пластей;
- за довжиною – зрощування з перепадом $W=1-2\%$.

Актуальність – перероблення бездефектних короткомірних заготовок з метою одержання якісних конструктивних елементів, зокрема, зрощених елементів, тобто ламелей, що є складовими меблевого щита.

Сенс – одержання переклеєних деталей – це поліпшення якісних властивостей конструктивних елементів для виготовлення меблевих виробів. Недолік – додаткові витрати. Переваги та актуальність склеювання:

- міцність переклеєних деталей вища від цільної деревини тому, що значно знижується вплив вад деревини за рахунок їх розосередження;
- переклеєні деталі мають високу формостійкість, що має особливе значення в сучасному виробництві, яке базується на взаємозамінності [86];
- у виготовленні переклеєних деталей більш раціонально використовуються цінна деревина і ділові відходи виробництва.

Також, якість меблевого щита здебільшого зумовлена властивостями її окремих ділянок (заготовок, ламелей). Тому врахування властивостей цих ділянок сприятиме раціональному вибору схеми формування клеєних конструкцій та прогнозуванню її якості ще до склеювання ділянок у меблевому щиті. Використання такого підходу до виготовлення меблевого щита є актуальним, але малодослідженим.

Поєднання різних порід деревини у клеєний елемент є малодослідженою проблемою, зокрема у роботі [94] розглянуто особливості виробництва клеєних брусів, окремі результати якого доцільно використати для дослідження клеєних щитів з поєднанням різних порід деревини. Автор вважає, що сортування заготовок за модулем пружності у виробництві дерев'яних клеєних конструкцій є ефективним способом раціонального використання деревини. За умови поєднання різних порід деревини у клеєному брусі заготовки з найбільшими модулями пружності варто розмішувати в крайніх зонах, тоді як ближче до середини, можна розташовувати деревину з меншим модулем пружності. Економія матеріалу у такому випадку може становити 20-30 %.

Одним із перспективних шляхів вирішення питання щодо раціонального вибору схеми формування клеєних одношарових конструкцій та прогнозування її якості до склеювання ділянок у меблевому щиті є розроблення математичного апарату для теоретичного дослідження формозміни пиломатеріалів. Такий математичний апарат повинен передбачати реалізацію послідовних інженерних розрахунків з урахуванням всихання або розбухання деревини різних порід залежно від зміни рівня вологості.

Таким чином, розроблення нових конструкцій меблевих щитів із монолітних та зрощених рейок, дослідження їх характеристик та прогнозування деформативності з врахуванням властивостей ламелей на основі чисельних методів та теорії пружності є основною передумовою до розроблення практично дієвих рекомендацій. Тобто, мета майбутніх досліджень – підготовка практичних рекомендацій для стабілізації допустимих відхилень щитових клеєних конструкцій – забезпечення допустимої стріли прогину (формостійкості щита) з врахування впливу температурно-вологісних факторів. За основу, для подальшого аналізу і дослідження формостійкості меблевих щитів можна рекомендувати одношарові меблеві щити, що виготовленні з монолітних та зрощених ламелей при довжині ділянок від 150 до 1000 мм, шириною від 20 до 84 мм і товщиною від 16 до 32 мм, одночасно розглядаючи способи укладання рейок з різним кутами нахилу річних кілець до пластів щита.

1.5. Аналіз джерел літератури з дослідження формостійкості меблевих щитів з деревини різних порід

Комплексне використання деревинних ресурсів вимагає використання короткомірних заготовок для подальшого її склеювання шляхом зрощування або склеювання на гладку фугу у щити [16, 26, 27-30, 38, 40, 41, 47, 52, 53, 55, 100-106, 110, 111-114, 134, 135, 155, 166]. Однак, деревина є гігроскопічним матеріалом, який міняє свою вологість, розміри та форму залежно від умов експлуатації. Тут криється наступна проблема – як отримати стабільний за формою щитовий матеріал, оскільки зміна форми та розмірів, які перевищують нормативні показники, знижують ефективність складальних операцій, порушують цілісність конструкції, що впливає на терміни експлуатації. У процесі сушіння, зберігання та експлуатації пилопродукції може відбуватися відхилення її форми від заданої – короблення. Анізотропія всихання приводить до зміни форми поперечного перетину пилопродукції, випиляної з різних місць колоди після сушіння (рис. 1.8). В основному, короблення виявляється на поперечному перетині пилопродукції – жолоблення, яке є результатом різниці радіального і тангенціального всихання, пов'язаного з кутом нахилу річних шарів до пласті пилопродукції. Дифузія вологи в деревині є причиною виникнення внутрішніх напружень. Характер зміни внутрішніх напружень достатньо складний, тому передбачити і точно визначити короблення пилопродукції надзвичайно важко [5, 6, 18, 24, 25, 38, 39, 61, 64, 71, 72, 87, 88, 93, 101, 129, 130, 136, 137, 141, 164]. Необхідно зазначити, що на зміну форми та розмірів пилопродукції істотний вплив має також і порода деревини. Для пилопродукції з твердолистяних порід характерна більша величина зміни форми та розмірів порівняно з м'яколистяними і хвойними породами. Взагалі деформація – зміна розмірів під час навантаження, а зміна розмірів під час навантаження пиломатеріалів (вади групи пожолобленості) – це викривлення пилопродукції під час її випилювання, сушіння та зберігання.

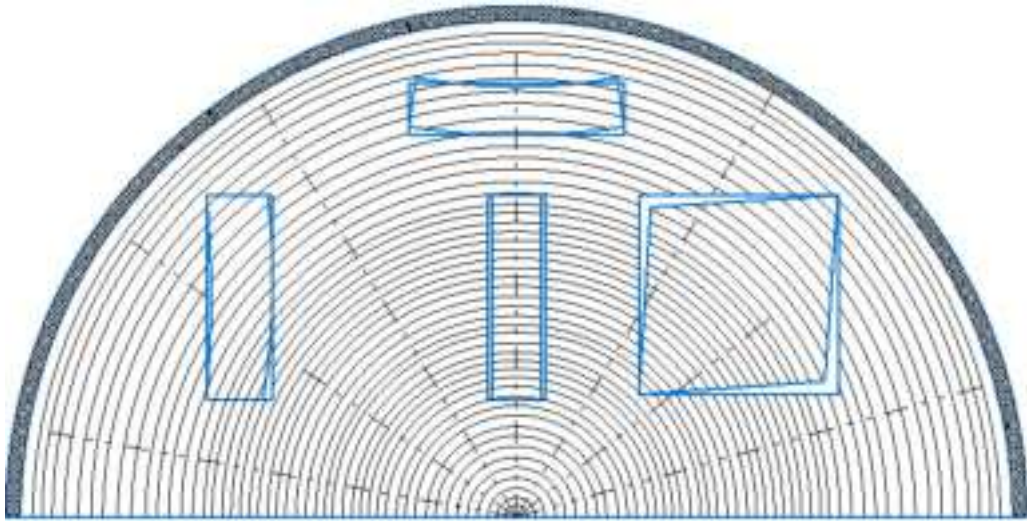


Рис. 1.8. Схема зміни форми поперечного перерізу пилопродукції, випиленої з різних місць колоди після сушіння

Розрізняють:

- просту поздовжню деформацію по пласті (проста покоробленість)- викривлення пилопродукції, в основному, для напіврадіальної пилопродукції за довжиною тільки в одному місці (рис. 1.9, а) і складну поздовжню деформацію (складна покоробленість) по пласті – викривлення із декількома прогинами;
- поздовжню покоробленість по крайці, в основному, для радіальної пилопродукції (рис. 1.9, б);
- поперечне пожелоблення – викривлення по ширині, в основному, для тангентальної пилопродукції (рис. 1.9, в).

Деформація – зміна розмірів під час навантаження. Деформація змінює форму пилопродукції, ускладнює її обробку та використання за призначенням, що є причиною збільшення відходів. Вимірюється як величина прогину за довжиною або за шириною.

Меблевий щит, який має велику ширину, необхідно склеювати із вузьких ділянок (заготовок). Це викликано тим, що широкі щитові клеєні конструкції піддаються жолобленню, на яке впливає розміщення волокон, напрям річних шарів у ділянках і наявність різних зон деревини в ділянці. Залежно від розміщення річних шарів і напрямку волокон у ділянках, з яких склеюється щит, не завжди вдається уникнути його жолоблення в реальних умовах експлуатації.



Рис. 1.9. Можливі види деформації пилопродукції

Так, для випадку, коли щит склеюється з широких ділянок тангенціального випилювання із розміщенням річних шарів в одному напрямку (рис. 1.10), жолоблення такого щита однобічне і має гладку поверхню.

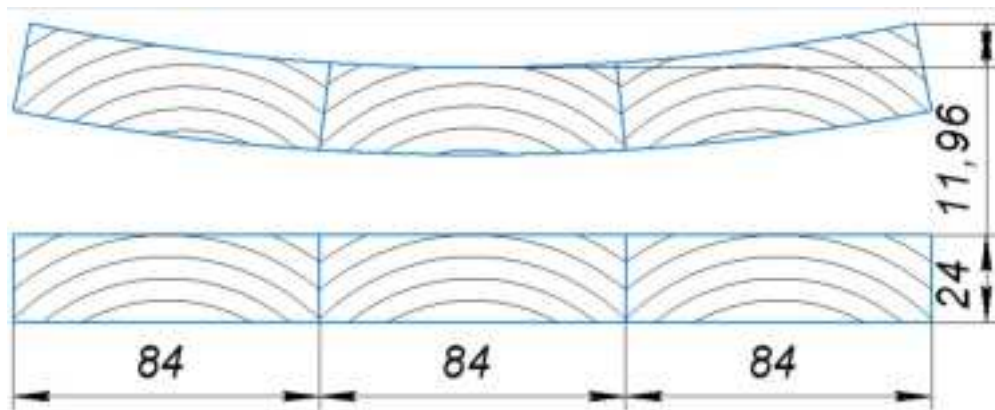


Рис. 1.10. Меблевий щит з широких ділянок тангенціального випилювання із розміщенням річних шарів в одному напрямку

А якщо ділянки у щиті розмістити по чергово з річними шарами в двох напрямках (рис. 1.11), то жолоблення такого щита буде складним із хвилястою поверхнею. Відомо, що викривлення заготовок тангенціального випилювання зумовлене різною величиною всихання ранньої і пізньої зон. Пізня зона всихається менше, ніж рання і річне кільце прагне до вирівнювання, а сама заготовка жолобиться.

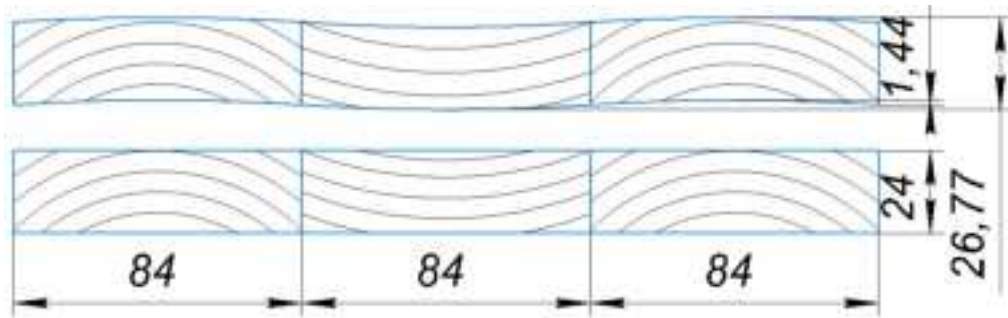


Рис. 1.11. Меблевий щит з широких ділянок тангенціального випилювання із перемінним розміщенням річних шарів в двох напрямках

Меблевий щит з широких ділянок радіального випилювання, річні шари яких розміщені перпендикулярно до площини (рис. 1.12), жолоблення не зазнає, але його поверхня може бути нерівною через нерівномірне всихання заболонної та ядрової частини ділянки.

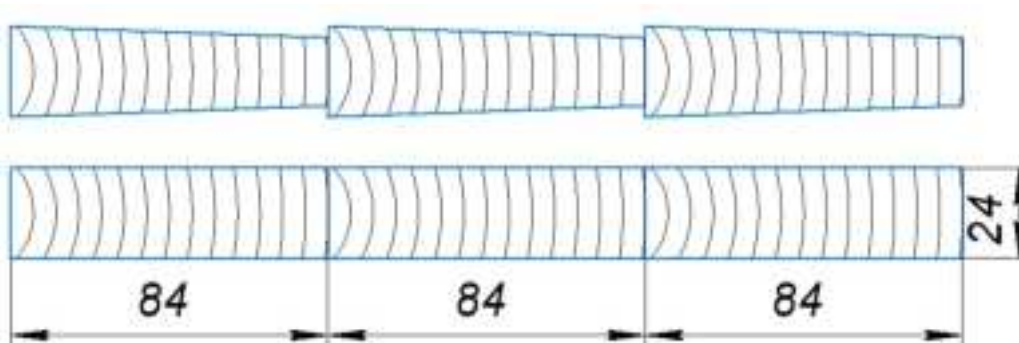


Рис. 1.12. Меблевий щит з широких ділянок радіального випилювання, річні шари яких розміщені перпендикулярно до площини

Механічні властивості, притаманні деревині різних порід, позбавленій вад, досить добре вивчені. Інша справа клеєні конструкції. У процесі виготовлення меблевих щитів бажано забезпечувати найвищу якість, тобто формостійкість. Тут вирішення питання охоплює багато різних моментів – від розкрою на радіальні рейки до способів укладання (рис. 1.13), що досить складно з практичного виконання, оскільки це і кошти, і сировина, і трудозатрати. Треба виходити із раціональних міркувань та практичного досвіду.

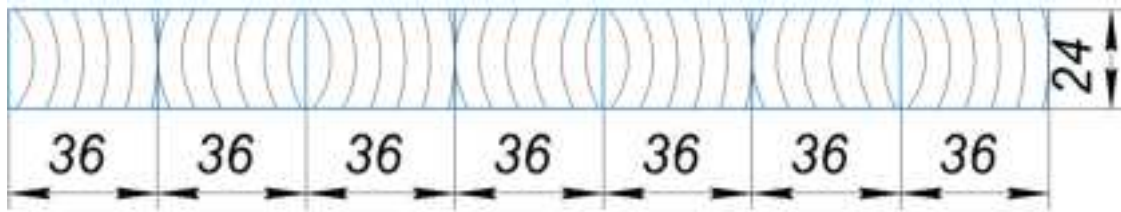


Рис. 1.13. Меблевий щит з вузьких із ламелей, що почергого укладаються з поворотом на 180° кожна

Багато науковців займались формостійкістю щитових конструкцій, зокрема, Маєвський В.О. та Беняк Ю.В. [101], Гайда С.В. [5, 38, 39, 61, 64], Кійко О.А. [18, 61], Кривик О.О. [93-95], Кійко І.О. [87, 88], М'якуш Б.М. [115] та інші. Одні пропонують, що пропорційність розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) не має перевищувати 1,5 рази [37], інші – 2,2 [83-85]. 100 мм, як ширина для рейок також розгляється в окремих працях [101]. Науковці Гайда С.В. та Кійко О.А. пов'язують ширину брусків для меблевих чи столярних щитів у співвідношенні 1:3 [18, 61].

Переважає більшість досліджень клеєних конструкцій орієнтована на аналіз їхніх механічних характеристик, зокрема міцності та формостійкості. У випадку використання клеєної конструкції як елемента фасадної поверхні, важливого значення набувають також показники її естетичності. Якість клеєних щитових конструкцій здебільшого зумовлена властивостями її окремих ділянок (заготовок, ламелей). Вчений Маєвський В.О. [101] пропонує максимально допустиму ширину рейок 67,9 мм для радіальних рейок з деревини дуба для товщин 18 мм. Тому врахування властивостей цих ділянок сприятиме раціональному вибору схеми формування клеєних щитових конструкцій та прогнозуванню їх якості ще до склеювання ділянок у клеєних щитових конструкціях. У процесі експлуатації щити із клеєних ламелей під впливом вологи можуть змінювати свою форму і розміри. Залежно від умов навколишнього середовища, деревина може як всихатися через виділення вологи, так і розбухати внаслідок вбирання вологи, призводячи до деформації пиломатеріалів.

Деревина є гігроскопічним матеріалом, що змінює свою вологість, розміри і форму під впливом умов навколишнього середовища, що може призводити до зниження якості конструкцій і виробів на стадії їх виробництва, транспортування та експлуатації. Вчений Соколовський Я.І. [136-150] також дотримується думки, що зміна форми і розмірів, що перевищують регламентовані норми в процесі виробництва виробів з деревини, знижують ефективність складальних операцій і якість готової продукції.

1.6. Аналіз методів та рекомендацій науковців з прогнозування формостійкості щитових виробів з деревини

Одними з поширених конструкційних елементів для виробництва різноманітних виробів з деревини є клеєні конструкції, зокрема одношарові щитові [64, 101]. Такі клеєні конструкції здебільшого виготовляють з деревини або деревини, армованої різними матеріалами (металами, композитами чи полімерами) [19]. Однією з основних визначальних характеристик клеєних щитів, окрім економічності, естетичності, є відповідність основному технологічному показнику як формостійкість. Формостійкість меблевих щитів здебільшого характеризують показниками прямолінійності, площинності та величиною всихання і розбухання, які залежать від впливу експлуатаційних факторів та постійних пружності: модулів пружності, модулів зсуву та коефіцієнтів поперечної деформації певної породи деревини, використаної для виготовлення конструкційного щитового матеріалу.

Показники значень відхилень від площинності регламентуються чинними нормативними документами, зокрема ДСТУ EN 13353:2009 [76]. Формостійкість щитів при цьому залежить від характеристик ламелей та способів укладання.

Деревина, як анізотропний матеріал [34, 35, 107, 151, 164], характеризується різними значеннями основних параметрів за різними напрямками. Мінливість величин показників зумовлюється впливом вологи,

тому ефективно передбачити короблення чи жолоблення практично неможливо, а тим математично описати досить складно [6, 38, 44, 48, 72].

Переважає більшість досліджень клеєних конструкцій орієнтована на аналіз їхніх механічних характеристик, зокрема міцності та формостійкості, та реалізовується експериментальним способом. Ці характеристики клеєних конструкцій зазвичай є визначальними для встановлення їхньої якості та напрямів подальшої експлуатації. У випадку використання клеєної конструкції як елемента фасадної поверхні, важливе значення набувають також показники її естетичності [39, 64, 67, 93]. Вчений Ференц О.Б. у науковій роботі [166] надав детальну інформацію про особливості формування клеєних матеріалів із застосуванням деревини різних порід під час виготовлення столярних виробів. Стосовно клейових з'єднань в конструкціях щитів, то ці питання описано в роботах вченого Кшивецький Б.Я. [96, 97, 98].

Деревина матеріал анізотропний, що зумовлено різницею між її властивостями залежно від напрямку волокон та місця розміщення заготовки (рейки) у стовбурі дерева [34, 35]. Наявність анізотропії в ламелях зумовлює різні характеристики за напрямками стосовно пружних параметрів [6, 38], та їх відмінність у кожній зі склеюваних рейок, призводить до недотримання формостійкості щита, склеєного з різних порід деревини.

Одним із визначальних чинників, від якого залежить напружено-деформівний стан клеєного щита, є волога. Нерівномірне поглинання вологи рейками різних порід деревини може призвести до появи надлишкових внутрішніх напружень у них та, відповідно, до зміни їх формостійкості. За збільшення вологості рейки її модуль пружності за короткотривалої дії навантаження зменшиться [133].

Широко відомі праці професора Соколовський Я.І., що присвячені деформаціям як деревини, так і композитних матеріалів [132, 137, 140]. Розробкою наукових засад стосовно характеристик міцності деревини займався професор Поберейко Б.П. [127], а вчений Бакалець А.В. [139] досліджував деформаційні процеси в деревині під час сушіння.

Сьогодні вчені для вирішення свої завдань використовують різні методи [38, 90, 91, 139, 141], зокрема, метод скінченних різниць та/або елементів, метод Ньютона, метод ітерацій, різницевий метод та інші. Наприклад, вчений Овчаренко В.А. [118] ефективно застосовує метод скінченних елементів для опису геометричних фігур. А вчені Єрошенко А.М. і Бойко С.В. [33] під час вивчення модифікованої деревини також використали МСЕ для моделювання її характеристик. Інші вчені Поберейко Б.П., Соколовський Я.І., Дендюк М.В. у своїх працях [71, 72, 123, 136-142] також застосовували чисельне моделювання.

Сьогодні, для прогнозу властивостей клеєних конструкцій, у тому числі щитових, ефективно застосовується закон Гука [34, 38], дані з опору різних матеріалів [121, 168, 169], а також методичні підходи з теорії пружності [99, 118]. Анізотропні ламелі [34, 35] в щитах описуються та характеризуються фізико-механічними показниками, які повинні бути враховані під час розроблення моделей прогнозування величин стріл прогину в щитах.

На даний час, процес моделювання різних технологічних процесів та об'єктів має досить широке застосування у виробничій сфері. Відповідно, деревооброблювальна галузь є не винятком, у якій моделювання використовують для створення моделей та процесів оброблювання деревини чи прогнозування стану деревини під час цих процесів, що сприятиме економії деревинних ресурсів, зменшенню затрат часу та підвищенню якості продукції. Моделювання напружено-деформівного стану, який визначає формостійкість щита, склеєного з однієї породи деревини методом кінцевих елементів, дає змогу отримати візуальне відтворення прогнозованої форми щита з попередньо визначеними характеристиками (порода, вологість, модуль пружності, модуль зсуву, коефіцієнти поперечної деформації). Останнім часом завдяки розвитку інформаційних технологій широкого поширення набуло моделювання процесів виробництва [38] і з'явилася можливість дослідження напружено-деформованого стану конструкцій насамперед за допомогою методу скінченних елементів [71], що дає можливість розроблення, а також застосування ефективних методичних підходів щодо раціоналізації об'єктів проектування.

Використання методу скінченних елементів для моделювання напружено-деформівного стану щита клеєного з рейок однієї породи деревини засвідчило свою ефективність та може бути застосоване для прогнозування формостійкості щитів клеєних з монолітних ламелей з врахування варіанту укладання ламелей у щитову конструкцію. Застосування скінченно-елементного аналізу уможливорює дослідження об'єктів, зокрема меблевих щитів без створення їх матеріального прототипу, методом побудови та вирішення математичної моделі, що пришвидшує технологічну підготовку щодо виготовлення нових формостійких виробів. Зараз існують програмні продукти, що дозволяють враховувати як фізичні, так і механічні властивості деревини, зокрема чисельний метод – метод скінченних елементів. Через явну анізотропію деревинних ламелей, що виражається через циліндричну структуру річних кілець, пружні властивості деревини мають суттєві відмінності, які проявляються по різному під час перепаду вологи та температури. Тому врахування всіх основних особливостей, спрямованих на покращення формостійкості, через можливий вплив вологи, має дійсно великий практичний інтерес з боку науковців. Зокрема, методичний підхід до прогнозування формостійкості МЩ, які сформовані із ламелей бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), полягає у моделюванні стану на предмет напруження та деформації, які можуть бути спричинені збільшенням вологи чи температури.

1.7. Обґрунтування проблеми формостійкості меблевих щитів та аналіз напрямів зменшення величини відхилення від площинності

Сьогодні, як ніколи, розвиток техніки і технологій у деревообробній галузі сприяв появі на ринку нових та урізноманітненню і покращенню властивостей наявних видів композиційних конструкційних матеріалів з деревини, які створюють гідну конкуренцію масивній деревині. Але деревина має свої переваги. Тому, незважаючи на недоліки, меблі з натуральної деревини завжди будуть користуватись попитом у споживачів.

Деревина за своєю анатомічною будовою є колоїдним та капілярно-пористим матеріалом, який через зниження вологості змінює свій об'єм пропорційно до кількості видаленої гігроскопічної вологи. Досить часто процес сушіння пиломатеріалу супроводжується зміною форми його поверхонь (деформацією), найчастіше спостерігаємо жолоблення за шириною пиломатеріалу, зокрема зміщення країв у бік опуклості.

У процесі експлуатації виробів із деревини, залежно від умов навколишнього середовища, деревина може як всихатися через виділення вологи, так і розбухати внаслідок вбирання вологи, призводячи до деформації пиломатеріалів. Це здебільшого зумовлено великою різницею між зміною розмірів у тангенціальному та радіальному напрямках, для яких значення показників може відрізнятись навіть у 2 рази, залежно від породи деревини [22, 35, 38]. Процеси всихання та розбухання такого гігроскопічного матеріалу, як деревина, – предмет дослідження багатьох науковців. Результати їхніх досліджень засвідчують складну природу цих процесів, особливо зважаючи на анізотропність деревини. Нехтування основними рекомендаціями щодо підбору ділянок деревини перед їхнім склеюванням у МЩ є однією з основних причин отримання низькоякісної, а в окремих випадках – і непридатної до подальшого використання продукції за показниками формостійкості.

Таким чином, неперевершеність та популярність виробів з масивної деревини залишається незмінною впродовж багатьох років та не втратила актуальності і на сьогодні. Це завдяки тому, що у масивної деревини є характерні особливості, які практично неможливо відтворити у композиційних матеріалах, зокрема об'ємність текстури, здатність до відтворення попередньої форми за зміни вологи, стабільність механічних показників за перепаду температури, відсутність розшарування за товщиною та відклеювання крайки. Але є і недоліки: анізотропія, короблення, змінність розмірів від наявної вологи, розтріскування. У зв'язку з цим, вивчення питання формостійкості меблевих щитів, зокрема з деревини бука звичайного, є безперечно актуальним, особливо стосовно впливу величини кута між

дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ і пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) на якість меблевого або столярного щитового виробу, що буде експлуатуватись в різних умовах.

Створення нових конструкцій МЩ з використанням різних рейок – монолітних та зрощених з бездефектних відрізків, зокрема отриманих із залишків деревини, дасть змогу ефективно використовувати деревинні ресурси [119]. Примінення вирізаних бездефектних відрізків у відповідному укладанні у конструкціях МЩ є першочерговим дослідженням щодо вирішення актуальної проблеми (рис. 1.14), пов'язаної з якістю цих щитових матеріалів. Дана існуюча проблема повинна вирішуватись таким чином, щоб були створені практичні рекомендації щодо використання бездефектних ділянок відповідних розмірів для створення щитових матеріалів, зокрема МЩ із первинної деревини та потенційного додаткового ресурсу – залишків деревини. Отже, створення нових та удосконалення існуючих конструкцій МЩ, розроблення науково-технічної бази та створення рекомендацій, що мають експериментальне підґрунтя є важливою проблемою та завданням на перспективу.



Рис. 1.14. Принципова схема вирішення проблеми досліджень закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів

1.8. Висновки, мета, завдання та загальна методика досліджень

Грунтовний аналіз ситуації з даної проблематики дав можливість сформулювати такі висновки:

1. З'ясовано, що бездефектні відрізки із розпиляних дощок та із залишків деревообробного виробництва є безпосереднім ресурсом сировини для отримання якісних конструкційних матеріалів з монолітних чи зрощених ламелей, що основою меблевих щитів для престижних та елітних меблевих виробів.

2. Обґрунтовано основну проблему у виробництві меблевих щитів – брак теоретичних описів та експериментальних досліджень спрямованих на забезпечення формостійкості залежно від характеристик складових елементів – бездефектних відрізків, що укладаються в конструкції у монолітному або у зрощеному вигляді.

3. Встановлено відсутність теоретичних та експериментальних досліджень формостійкості меблевих щитів із монолітних та зрощених ламелей із деревини таких порід як сосна звичайна та бук звичайний.

4. Обґрунтовано необхідність створення нових конструкцій меблевих щитів із деревини бука та сосни залежно від пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина), від величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, від кількості зрощених бездефектних відрізків в одній ламелі та від способу укладання рейок в конструкції виробу.

5. Обґрунтовано, що первинна деревина та якісні залишки деревини можуть розпилюватись на розмірно-придатні бездефектні заготовки, що, після зрощування, є основою для виготовлення меблевих щитів різних конструкцій.

6. З'ясовано, що технологічні рекомендації щодо підготовки ламелей відповідних розмірів (співвідношення поперечних розмірів перерізу) для застосування у масивному чи зрощеному вигляді для створення конструкційних матеріалів не створювались і, зрозуміло, відсутні в інформаційному просторі.

Створення практичних рекомендацій щодо співвідношення ширини до товщини з використанням операцій зрощування для короткомірних бездефектних відрізків для конкретних порід дасть можливість забезпечити стабільність форми, мінімувавши значення стріли прогину.

7. Виявлено відсутність математичних моделей щодо прогнозування формостійкості меблевих щитів, які б враховували характеристики монолітних та зрощених ламелей з деревини бука звичайного та сосни звичайної. Встановлено, що методичні підходи щодо моделювання та прогнозування формостійкості меблевих щитів із монолітних та зрощених ламелей, а тим більше комбінованого укладання, у проаналізованих джерелах літератури не наводяться. Розроблення моделі для прогнозування фізико-механічних властивостей для досліджених порід на основі методу скінченних елементів меблевих щитів з врахуванням особливостей пружних характеристик складових компонентів, дасть змогу контролювати стрілу прогину, а також виявляти особливості та недоліки на стадії проектування виробу і виправляти їх шляхом раціоналізації укладання рейок.

8. Обґрунтовано, що перспективним напрямом стабілізації форми меблевого щита при змінні вологісних полів є розроблення аналітичного опису деформацій меблевого щита в матричному вигляді для встановлення та уникнення, більшого від норми, відхилення від площинності під час розбухання та всихання, що є актуальною та малодослідженою проблемою.

9. Встановлено, що розроблення закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій дасть змогу застосувати пропорційні розміри в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) та запропонувати опимальні варіанти укладання ламелей для конструкцій меблевих щитів. А експериментальне встановлення суттєвого впливу кутів нахилу річних кілець в торці ламелі до пласті щита на формостійкість меблевих щитів стимулює та заставляє до виготовлення рейок з кутом нахилу більшим, ніж 45° , зокрема під час здійснення розпилювання колод.

10. Доцільність та обґрунтованість встановлення закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій має бути підтверджена порівняльною ефективністю та прийнятною собівартістю, про що не сказано в джерелах літератури.

Таким чином, **актуальність досліджень** – забезпечення підприємств меблевої та деревообробної галузі практичними рекомендаціями із зазначенням закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій для використання у виробництві виробів з деревини. **Проблема досліджень** – підвищення якості, зокрема забезпечення допустимого відхилення від площинності різних конструкцій меблевих щитів з прогнозованими значеннями стріл прогину. **Вирішення проблеми** – обґрунтування та розроблення науково-методичних основ зі встановлення закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових монолітних та зрощених ламелей на формостійкість меблевих щитів

За результатами аналізу джерел літератури на предмет оцінювання стану проблеми, актуальності та практичності сформовано **мету роботи** – встановлення закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій з прогнозованими характеристиками для використання у виробництві виробів з деревини.

Таким чином, для досягнення мети роботи треба вирішити такі **завдання**:

- виконати огляд і аналіз сучасного стану проблеми – проаналізувати сучасні теоретичні та практичні дослідження в області технології виготовлення меблевих щитів;
- обґрунтувати методіку теоретичних та експериментальних досліджень для досягнення мети дисертаційної роботи;

- розробити модель для прогнозування фізико-механічних властивостей букової деревини на основі методу скінченних елементів меблевих щитів анізотропії постійних пружності;
- запропонувати нові конструкції меблевих щитів із деревини бука та сосни і розробити математичну модель прогнозування їх формостійкості, залежно від пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина), від величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, від кількості зрощених бездефектних відрізків в одній ламелі та від способу укладання рейок в конструкції виробу;
- експериментально визначити стріли прогину меблевих щитів із деревини бука та сосни залежно від характеристик рейок за звичайних умов експлуатації, статистично розрахувати регресійні моделі та здійснити порівняння показників формостійкості з даними, що одержані за математичними залежностями;
- встановити закономірності впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій;
- розробити математичну модель розрахунку економічної ефективності процесу одержання меблевих щитів заданої формостійкості, визначити кошторис виробничої собівартості меблевих щитів з бездефектних ділянок соснових та букових ламелей та запропонувати рекомендації для впровадження отриманих результатів у виробництво.

Об'єкт дослідження – меблевий щит з деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) та сосни звичайної (*Pinus sylvestris*).

Предмет дослідження – закономірності впливу характеристик складових елементів з деревини бука звичайного та сосни європейської на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій з прогнозованими величинами прогину.

Для виконання наведених завдань було запропоновано **загальну методику досліджень** зі встановлення закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на

формостійкість меблевих щитів різних конструкцій з прогнозованими характеристиками, яка наведена на рис. 1.15.



Рис. 1.15. Загальна методика досліджень закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів та прогнозування стріли прогину

Основні положення цього розділу наведено у публікаціях:

Статті у наукових фахових виданнях України

Подібка Т.І. Конструкції та технологічні аспекти меблевих щитів в нормативних документах // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2018, вип. 44. – С. 83-90. doi: <https://doi.org/10.36930/42184411> Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/7/6>

Подібка Т.І., Кійко О.А. Дослідження впливу поперечних розмірів букових рейок на формостійкість меблевих щитів // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2019, вип. 45. – С. 155-171. doi: <https://doi.org/10.36930/42194521> (Здобувачем особисто виконано експериментальні дослідження, їх аналіз та опис, висновки). Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1/1>

Подібка Т.І. Дослідження формостійкості меблевих щитів із деревини сосни різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2020, вип. 46. – С. 108-120. doi: <https://doi.org/10.36930/42204613> Посилання на статтю у фаховому збірнику (опублікований до 12 березня 2020 року): <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/5/4>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та додатково відображають наукові результати дисертації

Подібка Т.І. Розроблення математичних моделей прогнозування формостійкості меблевих щитів з використанням методу скінченних елементів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2021, вип. 47. – С. 73-91. doi: <https://doi.org/10.36930/42214809> Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/9>

Подібка Т.І. Встановлення закономірностей впливу характеристик рейок на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 41-57. doi: <https://doi.org/10.36930/42214804> Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/10/9>

РОЗДІЛ 2

2. ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКА ФОРМОСТІЙКОСТІ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ ІЗ ДЕРЕВИНИ БУКА ЗВИЧАЙНОГО (FAGUS SYLVATICA L.) РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1. Розроблення конструкцій меблевого щита із деревини бука звичайного на основі визначальних вхідних компонентів

В основі теоретичних розробок стосовно застосування бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) в конструкціях меблевих щитів та прогнозування їх формостійкості, були використані праці, що описували окремі аспекти виготовлення якісних щитових виробів [128-132].

Важливим є те, що формостійкість конструкції безпосередньо залежить від характеристик елементів – ламелей, що формують виріб. У зв'язку з цим, дослідженими компонентами на вході були:

K_p – *коефіцієнт ламелі (рейки), що характеризує відношення поперечних розмірів: товщина – ширина* (кодування: 1 – 1:1; 2 – 1,5:1; 3 – 2,5:1; 4 – 3,5:1). $K_p = a/h$ і має значний вплив на величину стріли прогину МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) (рис. 2.1);

K_n – *коефіцієнт величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, що суттєво впливає на величину стріли прогину* (кодування: 1 – 61-90°; 2 – 31-60°; 3 – 1-30°). $K_n = 90/\alpha$, також має значний вплив на величину стріли прогину МЩ із деревини бука звичайного (рис. 2.2);

K_y – *коефіцієнт укладання* рейок у щити (кодування: 1 – 90:270:90:270:90; 2 – 90:135:90:45:90; 3 – 90:0:90:180:90; 4 – 45:135:45:135:45; 5 – 0:180:0:180:0), що характеризує стабільність форми конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.);

K_z – *коефіцієнт зрощування* бездефектних відрізків у ламелі (кодування: 1 – рейки монолітні ; 2 – дві ділянки з одним зрощенням ; 3 – три ділянки з

двома зрощеннями; 4 – чотири ділянки з трьома зрощеннями; 5 – п'ять ділянок з чотирма зрощеннями), що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) .



Рис. 2.1. Обгрунтовані та уніфіковані пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) в конструкціях меблевого щита із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)



Рис. 2.2. Перерізи ламелей з величинами кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ: 1-30° – тангентальний; 31-60° – напіврадіальний; 61-90° – радіальний

Для здійснення розрахунків під час побудови математичної моделі було проведено кодування змінних факторів:

K_p – коефіцієнт ламелі (рейки), що характеризує відношення поперечних розмірів : товщина – ширина (код: 1 – 1:1; 2 – 1,5:1; 3 – 2,5:1; 4 – 3,5:1): K_{p1} ; K_{p2} ; K_{p3} ; K_{p4} ;

K_n – коефіцієнт величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, що суттєво впливає на величину стріли прогину (код: 1 – 61-90°; 2 – 31-60°; 3 – 1-30°): $K_{н1}$; $K_{н2}$; $K_{н3}$;

K_y – коефіцієнт укладання рейок у щити (код: 1 – 90:270:90:270:90; 2 – 90:135:90:45:90; 3 – 90:0:90:180:90; 4 – 45:135:45:135:45; 5 – 0:180:0:180:0), що характеризує стабільність форми конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) : K_{y1} ; K_{y2} ; K_{y3} ; K_{y4} ; K_{y5} ;

K_3 – *коефіцієнт зрощування* бездефектних відрізків у ламелі (код: 1 – рейки монолітні ; 2 – дві ділянки з одним зрощенням ; 3 – три ділянки з двома зрощеннями; 4 – чотири ділянки з трьома зрощеннями; 5 – п'ять ділянок з чотирма зрощеннями), що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.): K_{31} ; K_{32} ; K_{33} ; K_{34} ; K_{35} .

Для ефективного дослідження впливу вхідних компонентів на формостійкість МЩ нами було розроблено різні конструкції МЩ. У конструкціях звичайних МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) передбачено використання рейок однієї породи деревини з почерговим укладанням згідно умов дослідження. МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) виготовлялись різних конструкцій.

Всі МЩ виготовлялись товщиною 24 мм. Ширина рейок становила 24, 36, 60 та 84 мм. Розміри МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) для досліджень складали 1000×500×24 мм, а їх половини після поперечного розкрою – 500×500×24 мм. Конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) за способом укладання рейок подано на рис. 2.3., а різновиди зрощених рейок для дослідження наведені на рис. 2.4.



Рис. 2.3. Конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) за способом укладання рейок



Рис. 2.4. Різновиди ламелей із бездефектних відрізків деревини в конструкціях МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)

2.2. Моделювання характеристик складових елементів в конструкції меблевого щита з використанням методу скінченних елементів

Для підвищення експлуатаційної стійкості щитових конструкцій на предмет формостійкості та збільшення кількості якісних конструкційних матеріалів необхідно вирішувати завдання щодо забезпечення високих характеристик таких матеріалів. У зв'язку з тим, стоїть завдання щодо прогнозування характеристик, зокрема щитових конструкцій на предмет формостійкості ще на стадії розроблення конструкцій – меблевих щитів. Для формування методики прогнозування ефективно підходить метод скінченних елементів (МСЕ) [38, 71, 131, 141]. Дослідження формостійкості МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), що базується на описі та моделюванні деформацій щитових конструкцій із твердих листяних порід з врахуванням анізотропії деревини та параметра вологості ($W_{12} \pm 2\%$), постійно цікавить як вчених так і виробників конструкційних матеріалів.

Методичний підхід до прогнозування формостійкості МЩ, які сформовані із ламелей бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), полягає у

модельованні стану на предмет напруження та деформації, які можуть бути спричинені збільшенням вологи чи температури. Зараз існують програмні продукти, що дозволяють враховувати як фізичні, так і механічні властивості деревини, зокрема чисельний метод – метод скінченних елементів. Через явну анізотропію деревинних ламелей, що виражається через циліндричну структуру річних кілець, пружні властивості деревини мають суттєві відмінності, які проявляються по різному під час перепаду вологи та температури.

Застосовуючи відомий закон Гука [33, 38, 118, 168] та пружну анізотропію деревини [34, 38, 107, 151], можна описати конструкційні матеріали, використовуючи теорії пружності анізотропного тіла [143].

Відомо, що деревина має лінійну залежність між деформаціями ε та напруженнями σ , що описується законом Гука:

- У звичайній формі для пружних тіл : $\varepsilon = \frac{1}{E} \cdot \sigma$; (2.1)

- У матричній формі для анізотропних тіл : $\{\varepsilon\} = [B]\{\sigma\}$. (2.2)

У МЩ, який містить рейки з із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з явною анізотропією, матриця жорсткості (податливості) $[B_{\text{МЩ}}]$, що охоплює 6 складових напружень, має 21 незалежну змінну [118], але при цьому необхідно враховувати спосіб укладання, тобто корегувати їх значення на коефіцієнт укладання K_y . Також, під час використання бездефектних відрізків необхідно враховувати кількість зон зрощування, тобто корегувати їх значення на коефіцієнт зрощування K_z , оскільки клеєні конструкції суттєво впливають на стабільність форми. У загальному випадку рейки із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) монолітні або зрощені, які формують МЩ, можуть мати початкові деформації, що виникають від перепаду вологості в приміщенні. Якщо деформації позначити $\{\varepsilon_0\}$, то напруження це різниця між сформованими та початковими деформаціями.

Також необхідно розуміти, що ламелі із деревини бука звичайного у МЩ через обробку поверхонь можуть мати початкові напруження $\{\sigma_0\}$. Для подальших розрахунків припускаємо лійнійну залежність між деформаціями та напруженнями в ламелях із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.):

А) для меблевого щита

$$\{\sigma_{\text{МЩ}}\} = K_y [B_{\text{МЩ}}](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}) + \{\sigma_0\} \approx K_y \cdot [B_{\text{МЩ}}] \cdot \{\varepsilon\} + \{\sigma_0\}.$$

або

(2.3)

$$\{\varepsilon_{\text{МЩ}}\} = K_y [B_{\text{МЩ}}](\{\sigma\} - \{\sigma_0\}) + \{\varepsilon_0\} \approx K_y \cdot [B_{\text{МЩ}}] \cdot \{\sigma\} + \{\varepsilon_0\},$$

Б) для ламелей – зрощених заготовок

$$\{\sigma_3\} = K_3 [B_3](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}) + \{\sigma_0\} \approx K_3 \cdot [B_3] \cdot \{\varepsilon\} + \{\sigma_0\}.$$

або

(2.4)

$$\{\varepsilon_3\} = K_3 [B_3](\{\sigma\} - \{\sigma_0\}) + \{\varepsilon_0\} \approx K_3 \cdot [B_3] \cdot \{\sigma\} + \{\varepsilon_0\},$$

де: $[B_{\text{МЩ}}]$ – матриця жорсткості (податливості), (пружності), що володіє характеристиками рейок МЩ відповідного укладання;

де: $[B_3]$ – матриця жорсткості (податливості), (пружності), що володіє характеристиками зрощених рейок МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.); ε – деформація; $\{\varepsilon\}$ – вектор деформацій; σ – напруження; $\{\sigma\}$ – вектор напружень рейок; σ_0 – початкові напруження; ε_0 – початкові деформації; $\{\sigma_0\}$ – вектор початкових напружень; $\{\varepsilon_0\}$ – вектор початкових деформацій;

K_y – коефіцієнт укладання рейок у щити, що характеризує стабільність форми конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.);

K_3 – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків у ламелі, що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.).

Загальний вигляд матриці жорсткості (податливості) $[B]$ для анізотропних матеріалів з використанням модулів пружності E та коефіцієнтів Пуансона ν записується наступним чином [118]:

$$[B] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \times \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Матриця жорсткості (податливості) $[B_{\text{МЩ}}]$ для ламелей, яка володіє трьома площинами пружної симетрії, величиною 6×6 , записується таким чином:

$$[B_{\text{МЩ}}] = K_y \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & \frac{-\mu_{tr}}{E_r} & \frac{-\mu_{ar}}{E_r} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{rt}}{E_t} & \frac{1}{E_t} & \frac{-\mu_{at}}{E_t} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{ra}}{E_a} & \frac{-\mu_{ta}}{E_a} & \frac{1}{E_a} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{rt}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ta}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ra}} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

де : E – модуль пружності за короткотривалої дії навантаження меблевого щита або зрощених брусків (ламельі); μ – коефіцієнт поперечної деформації; G – модуль зсуву; K_y – коефіцієнт укладання рейок у щити, що характеризує стабільність форми конструкції МЩ; K_3 – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків у ламелі, що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ.

Матриця жорсткості (податливості) $[B_3]$ для зрощених рейок, яка володіє трьома площинами пружної симетрії, величиною 6×6 , записується таким чином:

$$[B_3] = K_3 \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & \frac{-\mu_{tr}}{E_r} & \frac{-\mu_{ar}}{E_r} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{rt}}{E_t} & \frac{1}{E_t} & \frac{-\mu_{at}}{E_t} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{ra}}{E_a} & \frac{-\mu_{ta}}{E_a} & \frac{1}{E_a} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{rt}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ta}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ra}} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Опис вхідних компонентів, що входять у матрицю жорсткості (податливості) наведено в переліку умовних позначень.

Якщо розглядати ламелі як ортотропний матеріал, то з 12 пружних постійних, що в матриці жорсткості (податливості) [В], 9 із них є незалежними. Тоді маємо такі умови [34, 35, 26]:

$$\frac{\mu_{ra}}{E_a} = \frac{\mu_{ar}}{E_r}; \quad \frac{\mu_{ta}}{E_a} = \frac{\mu_{at}}{E_t}; \quad \frac{\mu_{rt}}{E_t} = \frac{\mu_{tr}}{E_r}. \quad (2.8)$$

Крім того, для наших досліджень, виходячи із припущень, можемо розглядати дві гіпотези, які ми висуваємо щодо теоретичних досліджень:

- Кількість зрощувань в ламелі зменшує напруженість та деформативність;
- У зрощеній ламелі поперечну анізотропію необхідно розглядати у циліндричній системі координат, оскільки ділянки зрощуються між собою з різними кутами нахилу, тоді для ламелі буде виконуватись наближено умова щодо модулів пружності $E_r = E_t$.

Звідси, матриця жорсткості (податливості) отримає вигляд симетричної. Тут спостерігаються попарно рівні величини, які можна усереднити, що і формує симетричний вигляд матриці жорсткості (податливості) (рис. 2.5).

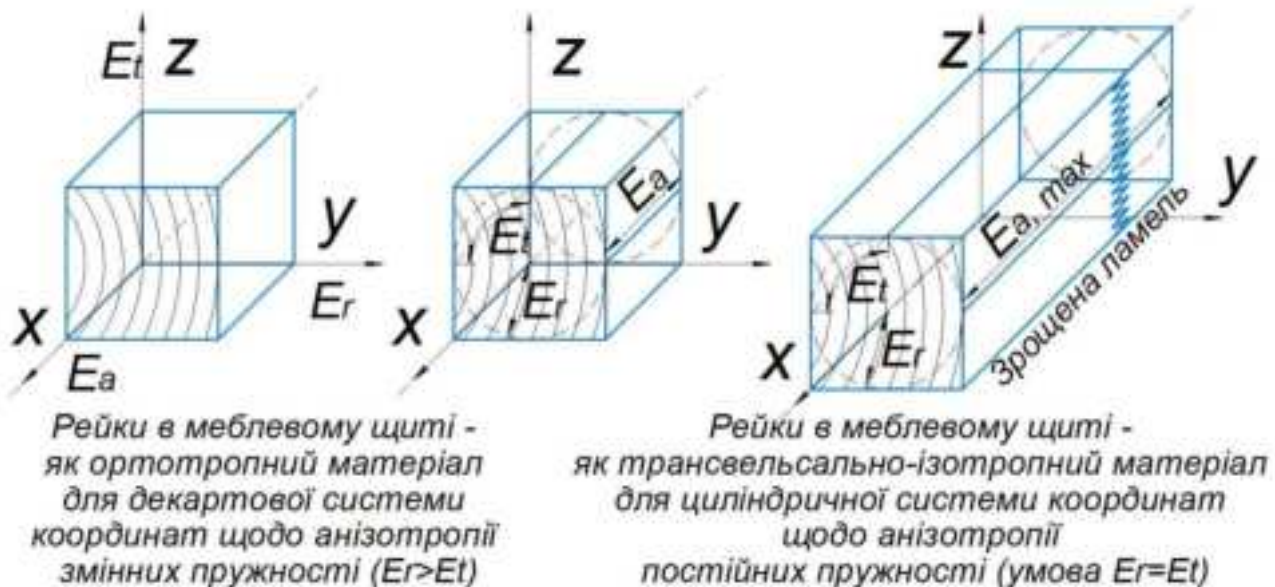


Рис. 2.5. Особливості анізотропії рейок з деревини бука в конструкціях меблевого щита

Крім того, відомо, що для трансверсально-ізотропних ламелей для з 12 пружних постійних, які входять у матрицю величиною 4×4 [В], тільки 5 є незалежними. Відповідно, маємо 4 умови:

$$-\frac{\mu_{ra}}{E_a} = -\frac{\mu_{ar}}{E_r} = -\frac{\mu_{ta}}{E_a} = -\frac{\mu_{at}}{E_t}; \quad \frac{1}{E_t} = \frac{1}{E_r}; \quad \frac{1}{G_{ta}} = \frac{1}{G_{ar}}; \quad G_{rt} = \frac{E_r}{2(1+\mu_{rt})}. \quad (2.9)$$

Тоді, матриця жорсткості (податливості) $[B_{\text{МЩ}}]$, величиною 4×4 , набуде вигляду:

$$[B_{\text{МЩ}}] = K_y \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & \frac{-\mu_{ar}}{E_r} & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{ra}}{E_a} & \frac{1}{E_a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{rt}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ra}} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

А матриця жорсткості (податливості) $[B_3]$, величиною 4×4 , набуде вигляду:

$$[B_3] = K_3 \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & \frac{-\mu_{ar}}{E_r} & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{ra}}{E_a} & \frac{1}{E_a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{rt}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ra}} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Для визначення характеристик МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) необхідно вказувати основні властивості за напрямками.

Деформації первинні $\epsilon_{0зр}$ або напруження первинні $\sigma_{0зр}$ в МЩ зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), що охоплюють вплив вологи, в матричному записі отримаємо вираз:

А) для меблевого щита

$$\begin{aligned} \{ \epsilon_{0\text{МЩ}(i)} \} &= K_{y(i)} (W - W_0) [K_t; K_r; K_l; 0; 0; 0] \\ \text{або } \{ \sigma_{0\text{МЩ}(i)} \} &= K_{y(i)} (W - W_0) [K_t; K_r; K_l; 0; 0; 0], \end{aligned} \quad (2.12)$$

Б) для ламелей – зрощених заготовок

$$\begin{aligned} \{ \epsilon_{0зр(i)} \} &= K_{3(i)} (W - W_0) [K_t; K_r; K_l; 0; 0; 0] \\ \text{або } \{ \sigma_{0зр(i)} \} &= K_{3(i)} (W - W_0) [K_t; K_r; K_l; 0; 0; 0], \end{aligned} \quad (2.13)$$

де: W_0 – початкова вологість, W – кінцева вологість; K_r , K_t , K_l – коефіцієнти розбухання у відповідних напрямках: радіальний, тангентальний і поздовжній;

K_y – коефіцієнт укладання рейок у щити, що характеризує стабільність форми конструкції МЩ; K_z – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків у ламелі, що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ.

Зрештою, **модель деформативності зрощених ламелей** при скінченно-елементному аналізі анізотропії постійних пружності набере такого вигляду:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{r1} \\ \varepsilon_{t1} \\ \varepsilon_{l1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \underline{Kz(i)} \times \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & -\frac{\mu_r}{E_r} & -\frac{\mu_{rt}}{E_r} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_r}{E_r} & \frac{1}{E_r} & -\frac{\mu_{rt}}{E_r} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_{rt}}{E_r} & -\frac{\mu_{rt}}{E_r} & \frac{1}{E_r} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_r} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_s} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_t \\ \sigma_l \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} K_r \\ K_t \\ K_l \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} S_r \\ S_t \\ S_l \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.14)$$

Таким чином, розроблено модель для прогнозування фізичних властивостей, зокрема формостійкості букової деревини на основі методу скінченних елементів меблевих щитів анізотропії постійних пружності. Створення такої математичної моделі на основі систем скінченно-елементного аналізу дає змогу досліджувати, зокрема меблеві щити без їх виготовлення, що також дозволяє в кілька разів скоротити період технологічної підготовки виробництва, матеріальні витрати і, за певними критеріями, оптимізувати конструкцію за умовами деформативності.

2.3. Обґрунтування достовірності теоретичних розрахунків за розробленим аналітичним апаратом деформацій меблевих щитів з використанням методу скінченних елементів з результатами експериментальних досліджень

Методика моделювання фізичних характеристик монолітних або зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) методом скінченних елементів під час створення нових конструкцій МЩ та аналізу даних під час порівняння отриманих даних включали:

- визначення характеристик деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), модуля пружності за короткотривалої дії навантаження та модуля зсуву в трьох напрямках, коефіцієнтів поперечної анізотропії;
- формування матриць податливості (пружності) монолітних або зрощених рейок та МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) ;
- виготовлення МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) деревини бука з поперечним перерізом рейок 24 × 24 мм. з будь-яким розміщенням ламелей, що мають різні величини кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ у суміжних рейках;
- для порівняльного аналізу та розроблення рекомендацій щодо правильного укладання рейок в конструкцію МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) дотрималися перепаду вологості до 2%;
- для визначення деформативності МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) вимірювали величину стріли прогину для всіх конструкцій меблевих щитів, де рейки мали різну кількість зрощувань;
- моделювання вологісних деформацій МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) як ортотропного матеріалу виконували на основі методу скінченних елементів;
- результати проведених досліджень дали змогу запропонувати рекомендації щодо величини кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина), суміжного укладання.

Провівши всі обчислення, отримано всі необхідні характеристики для монолітних або зрощених рейок, які необхідні для відповідного укладання в розроблених конструкціях, а також для обчислення матриці податливості (пружності): модуль пружності за короткотривалої дії навантаження та модуль зсуву у трьох напрямках, коефіцієнти поперечної анізотропії (табл. 2.1).

Для дослідження деформативності МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) було попередньо підібрано із довідкової літератури та визначено

необхідні коефіцієнти розбухання рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) (табл. 2.2).

Таблиця 2.1

Основні деформативні (механічні) властивості зрощених рейок, МПа

К-сть від- різків	Модуль пружності			Коефіцієнти поперечної деформації						Модуль зсуву		
	E_a	E_r	E_t	μ_{ra}	μ_{ta}	μ_{ar}	μ_{tr}	μ_{at}	μ_{rt}	G_{ra}	G_{ta}	G_{rt}
1	15319	994	627	0,412	0,350	0,025	0,739	0,023	0,362	1646	1081	508
2	15090	968	618	0,406	0,344	0,026	0,712	0,021	0,356	1625	1072	489
3	14941	947	611	0,403	0,339	0,026	0,694	0,020	0,352	1596	1047	470
4	14795	932	606	0,400	0,335	0,027	0,678	0,019	0,350	1568	1011	459
5	14687	918	601	0,397	0,332	0,027	0,671	0,018	0,348	1532	985	436

Для дослідження деформативності МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) були встановлені та розраховані коефіцієнти розбухання для деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) (табл. 2.2).

Таблиця 2.2.

Коефіцієнти розбухання рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)

К-сть відрізків	Вологість, %			Коефіцієнти розбухання		
	W	W ₀	ΔW	K _r	K _t	K _l
1	30	8	22	0,175	0,358	0,022
2	30	8	22	0,151	0,302	0,018
3	30	8	22	0,135	0,250	0,013
4	30	8	22	0,122	0,195	0,011
5	30	8	22	0,108	0,163	0,007

Використовуючи дані табл. 2.2 та формулу 2.11, початкові деформації $\varepsilon_{0зр}$ в МЩ зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), що охоплюють вплив вологи, в матричному записі отримаємо вираз:

$$\begin{aligned}
 \{ \varepsilon_{0зр(1)} \} &= K_{з(1)} (30-8) [0,175 ; 0,358 ; 0,022 ; 0 ; 0 ; 0] \\
 \{ \varepsilon_{0зр(2)} \} &= K_{з(2)} (30-8) [0,151 ; 0,302 ; 0,018 ; 0 ; 0 ; 0] \\
 \{ \varepsilon_{0зр(3)} \} &= K_{з(3)} (30-8) [0,135 ; 0,250 ; 0,013 ; 0 ; 0 ; 0] \\
 \{ \varepsilon_{0зр(4)} \} &= K_{з(4)} (30-8) [0,122 ; 0,195 ; 0,011 ; 0 ; 0 ; 0] \\
 \{ \varepsilon_{0зр(5)} \} &= K_{з(5)} (30-8) [0,108 ; 0,163 ; 0,007 ; 0 ; 0 ; 0]
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

Провівши всі обчислення, отримано всі коефіцієнти матриці жорсткості (податливості) для монолітних або зрощених рейок, які необхідні для розрахунку деформативності МЩ із деревини бука звичайного під час вивчення конструкцій МЩ стосовно компоновання суміжних ламелей (табл. 2.3).

Таблиця 2.3.

Коефіцієнти матриці на основі властивостей, 10^{-10}

К-сть відрізків в рейці	Коефіцієнти матриці жорсткості (податливості)											
	$1/E_r$	μ_{tr}/E_r	μ_{ar}/E_r	μ_{rt}/E_t	$1/E_t$	μ_{at}/E_t	μ_{ra}/E_a	μ_{ta}/E_a	$1/E_a$	$1/G_{ra}$	$1/G_{ta}$	$1/G_{rt}$
1	10,06	7,44	0,26	5,77	15,95	0,37	0,27	0,23	0,65	19,67	9,25	6,08
2	10,33	7,35	0,27	5,76	16,18	0,34	0,27	0,23	0,66	20,45	9,33	6,15
3	10,56	7,33	0,28	5,76	16,36	0,33	0,27	0,23	0,67	21,28	9,55	6,27
4	10,73	7,28	0,29	5,77	16,51	0,31	0,27	0,23	0,68	21,78	9,89	6,38
5	10,89	7,31	0,29	5,79	16,64	0,31	0,27	0,23	0,68	22,96	10,15	6,53

Для ортотропних монолітних рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) (K_{31}) для МЩ з 12 пружних постійних (9 незалежних), матриця жорсткості (податливості) $[B_3]$ буде мати вигляд:

$$[B_{31}] = K_{31} \begin{bmatrix} 10,06 & -7,44 & -0,26 & 0 & 0 & 0 \\ -5,77 & 15,95 & -0,37 & 0 & 0 & 0 \\ -0,27 & -0,23 & 0,65 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 19,67 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6,08 \end{bmatrix}. \quad (2.30)$$

Усереднена та симетрична для рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) (K_3) для МЩ з 12 пружних постійних (9 незалежних), матриця жорсткості (податливості) $[B_3]$, яка прийнята для наступних розрахунків, буде мати вигляд:

$$[B_{31}] = K_{31} \begin{bmatrix} 10,06 & -6,605 & -0,265 & 0 & 0 & 0 \\ -6,605 & 15,95 & -0,30 & 0 & 0 & 0 \\ -0,265 & -0,30 & 0,65 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 19,67 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6,08 \end{bmatrix}. \quad (2.31)$$

За допомогою експериментальних досліджень були визначені значення коефіцієнтів K_3 , що враховують та описують характеристики рейок залежно від кількості зубчастих з'єднань в ламелі. Приймаємо для монолітних рейок

значення $K_{31}=1$, то наступні порівнянні з K_{31} будуть такими $K_{32}=0,95$; $K_{33}=0,91$ $K_{34}=0,88$; $K_{35}=0,86$. Значення $\{\sigma\}$ визначаємо для K_{31} , яке становить $\sigma_a=104,4$ (61-90°); $\sigma_a=99,83$ (31-60°); $\sigma_a=96,92$ (1-30°).

Після цього всі дані підставляємо у формулу 2.32 та знаходимо вектори деформацій за напрямками анізотропії для кожного типу щита

$$\{\varepsilon_{3(i)}\} = K_{3(i)} [B_{3(i)}](\{\sigma_a\} + \{\varepsilon_{03(i)}\}). \quad (2.16)$$

Приклад внесення даних, тобто числове значення векторів деформацій за напрямками анізотропії для **першого типу ламелей з результатами**:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{r1} \\ \varepsilon_{t1} \\ \varepsilon_{l1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = 1 \times \begin{bmatrix} 10,06 & -7,44 & -0,26 & 0 & 0 & 0 \\ -5,77 & 15,95 & -0,37 & 0 & 0 & 0 \\ -0,27 & -0,23 & 0,65 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 19,67 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6,08 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} 104,4 \\ 96,92 \\ 52,20 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0,175 \\ 0,358 \\ 0,022 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0,200 \\ 0,453 \\ 0,023 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Результати порівняльних випробувань подані у табл. 2.4. і рис. 2.7.

Таблица 2.4.

Значення максимальних прогинів ламелей із деревини бука звичайного

	Прогин S, мм (Експер)			Прогин S, мм (Модель)		
	Kα30	Kα60	Kα90	Kα30	Kα60	Kα90
ε ₃₁	0,427	0,201	0,116	0,453	0,248	0,200
ε ₃₂	0,416	0,198	0,115	0,396	0,218	0,178
ε ₃₃	0,408	0,196	0,114	0,343	0,192	0,163
ε ₃₄	0,402	0,193	0,113	0,287	0,166	0,151
ε ₃₅	0,399	0,192	0,113	0,254	0,149	0,137

Відхилення між експериментом та моделюванням становили : для 30° – 5-50 %, для 60° – 2-30 %, для радіальних перерізів – до 8-40 %.

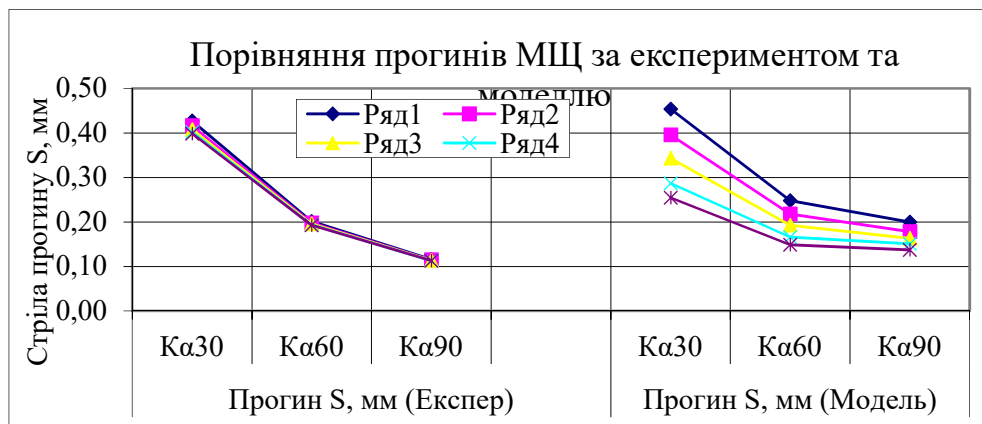


Рис. 2.7. Порівняння стріл прогинів ламелей із деревини бука звичайного

Дані порівняльного аналізу теоретичних даних з експериментом для зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) стосовно прогину в різних конструкціях меблевого щита подано у табл. 2.5 та представлено у вигляді номограми на рис. 2.8.

Таблиця 2.5. Порівняльний аналіз теоретичних даних з експериментом для зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) на предмет прогину для вологості 8%

	К α 30		К α 60		К α 90	
	Експр.	Модель	Експр.	Модель	Експр.	Модель
ϵ_{31}	0,427	0,453	0,201	0,248	0,116	0,200
ϵ_{32}	0,416	0,396	0,198	0,218	0,115	0,178
ϵ_{33}	0,408	0,343	0,196	0,192	0,114	0,163
ϵ_{34}	0,402	0,287	0,193	0,166	0,113	0,151
ϵ_{35}	0,399	0,254	0,192	0,149	0,113	0,137

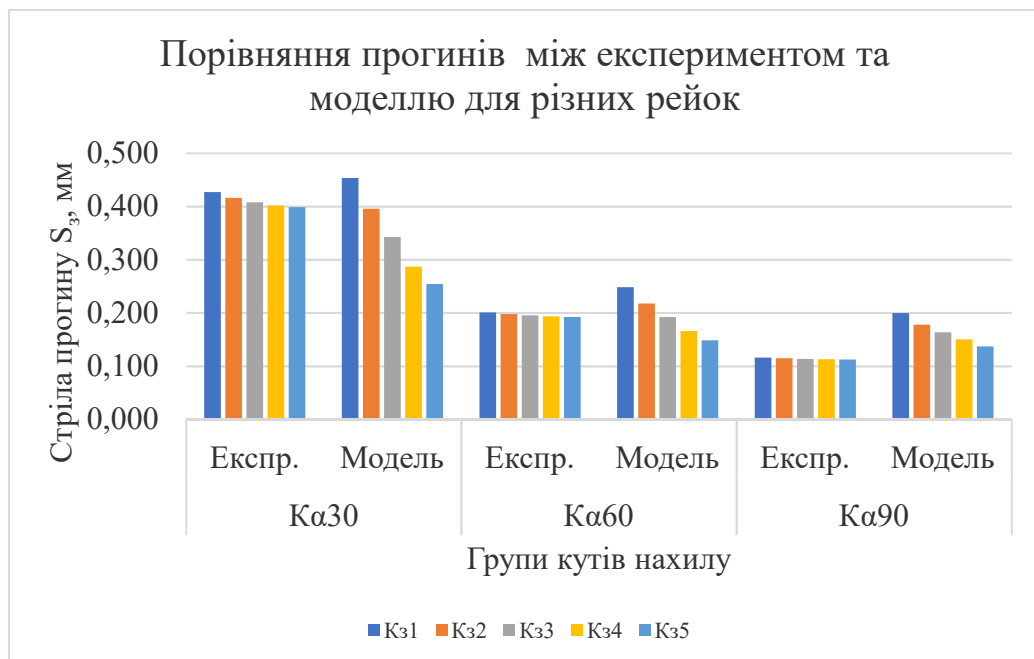


Рис. 2.8. Динаміка порівняльних прогинів теоретичних та експериментальних даних, отриманих для різних ламелей

Загальна динаміка прогинів за теоретичною моделлю для зрощених ламелей, для яких наближено виконується умова щодо модулів пружності $E_r = E_t$, демонструє зменшення напруженості та деформативності, що підтвержує нашу гіпотезу, що при збільшенні кількості зрощувань величина стріли прогину зменшується (рис. 2.9).

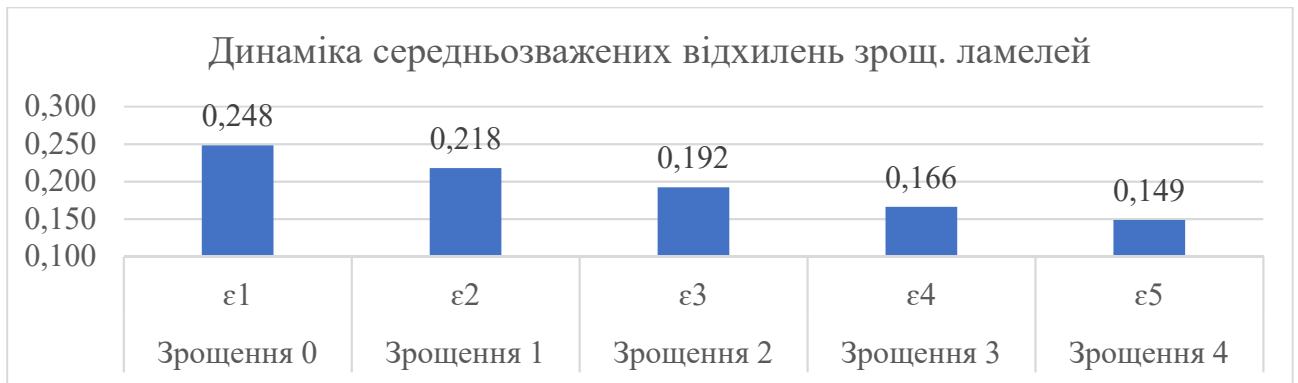


Рис. 2.9. Динаміка величини стріли прогину для різної кількості зрощень

Таким чином, на основі зібраних та отриманих вхідних компонентів і за допомогою методу скінченних елементів можливо розрахувати деформативність МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.). Щоб передбачити стійкість конструкції на предмет прогину, який може проявитись при зміні вологи, необхідно чітко здійснювати укладання ламелей в конструкцію меблевого щита. Використовуючи запропоновану модель, це можна здійснювати на ранній стадії, коли розробляються нові конструкції МЩ. Оптимальні схеми укладання ламелей в конструкції МЩ – це, перш за все, максимальний відсоток якісної продукції.

2.4. Побудова математичних моделей прогнозування формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного

Виходячи із довготривалих досліджень використання монолітних або зрощених ламелей для отримання якісних МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), отримавши велику базу величин вимірювань стріл прогину, було прийнято рішення та здійснено обґрунтування щодо необхідності створення математичних моделей відносно прогнозу формостійкості майбутнього щитового матеріалу. [30-32]:

- Фізичні властивості МЩ описуються властивостями деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), зокрема, твердістю, щільністю та іншими.
- Фізичні властивості МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) залежать від комплектації ламелей, тобто монолітності чи зрощуваності.

- Формостійкість МЩ залежать від способу укладання ламелей – тангентальних чи радіальних, зрощених чи монолітних, що позначається на властивостях МЩ.

- Величина стріли прогину МЩ залежить від величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ.

Таким чином, функції залежностей формостійкості МЩ із деревини бука звичайного визначаються такими вхідними компонентами:

МЩ із монолітних рейок деревини бука

$$S_y = f(K_p; K_n; K_y; K_n) \quad (2.17)$$

МЩ із зрощених рейок деревини бука

$$S_z = f(K_p; K_n; K_y; K_z; K_n) \quad (2.18)$$

Здійснивши аналіз результатів з використанням різних функцій, було встановлено оптимальний опис вихідних характеристик МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) за експонентою. Для створення математичних залежностей прогнозування характеристик МЩ із деревини бука використано методу найменших квадратів, а також метод ітерацій (підбору), так як отримати інженерний розв'язок такого завдання практично неможливо.

Формат математичних моделей для прогнозу величин стріли прогину (формостійкості) МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.):

1). Модель величини стріли прогину S_{PH} для МЩ із монолітних бездефектних відрізків з врахуванням пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) – коефіцієнта K_p та величин кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ – коефіцієнта K_n :

$$S_{PH} = A \times \exp(B \cdot K_p) \times \exp(C \cdot K_n) . \quad (2.19)$$

2). Модель величини стріли прогину S_z для МЩ із зрощених бездефектних відрізків з врахуванням пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) – коефіцієнта K_p , величин кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ – коефіцієнта K_n , та коефіцієнта зрощування K_z :

$$S_z = A \times \exp(B K_z) \times \exp(C \cdot K_p) \times \exp(D \cdot K_n) . \quad (2.20)$$

3). Модель величини стріли прогину S_y для МЩ із зрощених бездефектних відрізків з врахуванням пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) – коефіцієнта K_p , величин кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ – коефіцієнта K_n , та коефіцієнта укладання K_y :

$$S_y = A \times \exp(B K_y) \times \exp(C \cdot K_p) \times \exp(D \cdot K_n) . \quad (2.21)$$

де: «А»; «В»; «С»; «D» – коефіцієнти для апроксимованих залежностей; K_p – коефіцієнт ламелі (рейки), що характеризує відношення поперечних розмірів : товщина – ширина $K_p = h/a$; K_n – коефіцієнт величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, що суттєво впливає на величину стріли прогину $K_p = 90/\alpha$; K_y – коефіцієнт укладання рейок у щити, що характеризує стабільність форми конструкції МЩ; K_3 – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків у ламелі, що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ. Коефіцієнти моделей для здійснення прогнозу величин стріли прогину (формостійкості) МЩ (відхилення від площинності) S_{pn} , S_y , та S_3 , де ламелі використані з деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.).

Методичний підхід до встановлення та розрахунку коефіцієнтів моделей для прогнозу характеристик меблевих щитів (МЩ) із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.). Використано спосіб кодування змінних факторів, що полегшило проведення всіх розрахунків: K_p – коефіцієнт ламелі (рейки), що характеризує відношення поперечних розмірів: товщина – ширина (код: 1 – 1:1; 2 – 1,5:1; 3 – 2,5:1; 4 – 3,5:1): K_{p1} ; K_{p2} ; K_{p3} ; K_{p4} ; K_n – коефіцієнт величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, що суттєво впливає на величину стріли прогину (код: 1 – 61-90°; 2 – 31-60°; 3 – 1-30°): K_{n1} ; K_{n2} ; K_{n3} ; K_y – коефіцієнт укладання рейок у щити (код: 1 – 90:270:90:270:90; 2 – 90:135:90:45:90; 3 – 90:0:90:180:90; 4 – 45:135:45:135:45; 5 – 0:180:0:180:0), що характеризує стабільність форми конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.): K_{y1} ; K_{y2} ; K_{y3} ; K_{y4} ; K_{y5} ; K_3 – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків у ламелі (код: 1 – рейки монолітні; 2 – дві рейки з одним зрощенням; 3 – три рейки з двома зрощеннями;

4 – чотири рейки з трьома зрощеннями; 5 – п'ять рейок з чотирма зрощеннями)
: K_{31} ; K_{32} ; K_{33} ; K_{34} ; K_{35} .

Для побудови запланованих математичних моделей застосовано та використано метод найменших квадратів та метод ітерацій, а також коефіцієнт детермінації R^2 , що характеризує лінію тренда апроксимованої функції.

Методика встановлення та розрахунку коефіцієнтів моделі для прогнозу величини стріли прогину МЩ із деревини бука залежно від пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) (K_p), від величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ (K_n) та від кількості зрощених бездефектних відрізків в одній ламелі (K_z):

1. для встановлення та визначення величини коефіцієнта B , що враховує кількість зрощених відрізків в одній ламелі (довжиною 1 м, що було прийнято для досліджень), будуюмо графічні залежності показників величин стріли прогину з величинами кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ для $K_{n1}=61-90^\circ$ для 4-х типів ширин: K_{p1} ; K_{p2} ; K_{p3} ; K_{p4} ;

2. за найбільшим коефіцієнтом детермінації R^2 вибираємо відповідну функції, що найліпше характеризує графічні залежності;

3. вибираємо експоненту, що оптимально характеризує величину стріли прогину в меблевому щиті від кількості зрощених відрізків в одній ламелі з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,9602$ і коефіцієнтом моделі $B=-0,017$;

4. для встановлення та визначення величини коефіцієнта C , що охоплює пропорційність розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина), будуюмо графіки залежності коефіцієнтів експонент зрощених бездефектних відрізків в одній ламелі стосовно прийнятих для досліджень ширин K_{p1} (0,0584); K_{p2} (0,0745); K_{p3} (0,1368); K_{p4} (0,2136);

5. вибираємо експоненту, що оптимально характеризує величину стріли прогину стосовно поперечних розмірів з $R^2=0,9768$ і коефіцієнтом $C=0,4498$;

6. для встановлення та визначення величини коефіцієнта D , будуюмо графічні залежності функцій експонент величин кутів між дотичною річного

кільця в ламелі до загальної площини МЩ для трьох типів кутів $K_{н1}$; $K_{н2}$; $K_{н3}$, що мають такі коефіцієнти : $R^2=0,9539$, $R^2=0,9986$, $R^2=0,9854$;

7. для встановлення та визначення величини коефіцієнта A використовуємо графічні залежності функцій експоненти величин кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ $K_{н1}$ (0,073); $K_{н2}$ (0,135); $K_{н3}$ (0,313);

8. вибираємо експонету, що оптимально характеризує величину стріли прогину залежно від коефіцієнта величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ з $R^2=0,9924$ і визначеними коефіцієнтами моделі $D=0,7311$, $A=0,0337$;

9. застосовуємо отримані коефіцієнти моделі для прогнозу величини стріли прогину у МЩ з такими значеннями: $A=0,0337$; $B = -0,017$; $C=0,4498$; $D=0,7311$.

За такою ж методикою розраховували коефіцієнти апроксимації для прогнозу величини стріли прогину (формостійкості) МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) залежно від пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) (K_p) та від величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ (K_n): $A=0,0334$; $B = 0,522$; $C=0,5168$.

За такою ж методикою розраховували коефіцієнти апроксимації для прогнозу величини стріли прогину (формостійкості) МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) залежно від пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) (K_p), від величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ (K_n) та від способу укладання рейок в конструкції виробу (K_y): $A=0,003$; $B = 0,2932$; $C=1,1112$; $D=0,9432$.

Підставляючи отримані коефіцієнти апроксимації у загальні формули, математичні моделі наберуть вигляду:

а) залежність величини стріли прогину (формостійкості) $S_{рн}$ для МЩ із монолітних бездефектних відрізків з врахуванням пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) – коефіцієнта K_p та величин

кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ – коефіцієнта K_n має вигляд:

$$S_{рн} = 0,0334 \cdot e^{0,522 \cdot K_p} \cdot e^{0,5168 \cdot K_n} \quad (2.22)$$

б) Залежність величини стріли прогину (формостійкості) S_z , що враховує кількість зрощених заготовок на 1 метр довжини для меблевих щитів товщиною 24 мм із рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) має вигляд:

$$S_z = 0,0337 \cdot e^{-0,017 K_z} \cdot e^{0,4498 \cdot K_p} \cdot e^{0,7311 \cdot K_n} \quad (2.23)$$

в) Залежність величини стріли прогину (формостійкості) S_y , що враховує спосіб укладання, для меблевих щитів товщиною 24 мм із склеєних рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) має вигляд:

$$S_y = 0,003 \cdot e^{0,2932 \cdot K_y} \cdot e^{1,1112 \cdot K_p} \cdot e^{0,9434 \cdot K_n} \quad (2.24)$$

2.5. Висновки до розділу

1. Проаналізовано та з'ясовано властивості структурних складових МЩ, що повинні бути враховані під час прогнозування величини стріли прогину МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.). Визначено, що до таких належать: K_p – коефіцієнт ламелі (рейки), що характеризує відношення поперечних розмірів : товщина – ширина, що впливає на показник формозміни; K_n – коефіцієнт величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, що суттєво впливає на величину стріли прогину, особливо під час температурно-вологісних коливань; K_y – коефіцієнт укладання рейок у щити, що характеризує стабільність форми конструкції МЩ; K_z – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків у ламелі, що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ із деревини бука звичайного.

2. Розроблено нові конструкції МЩ, зокрема із деревини бука товщиною 24 мм з уніфікованою шириною рейок 24, 36, 60 та 84 мм та із деревини сосни товщиною 20 мм з уніфікованою шириною рейок 20, 50 та 80 мм двох типів: з монолітних та із зрощених ламелей. У конструкціях МЩ передбачено почергове укладання рейок радіального, напіврадіального та тангентального розпилу для забезпечення допустимою стріли прогину конструкції.

3. З'ясовано, що числові методи дозволяють деформативний стан щитових конструкцій, що сприятиме якісній розробці нових конструкцій МЩ. Пропонування нетрадиційних конструкцій МЩ, зокрема з деревини бука при застосування методу скінченних елементів дає змогу виробникам уточнити конструкції на стадії проектування, і тим сам сприяти зменшенню величини стріли прогину. Обґрунтовано варіант прогнозування властивостей МЩ із деревини бука на основі методу скінченних елементів, який враховує особливості властивостей монолітних або зрощених ламелей. Запропоновано методичний підхід для прогнозування можливого відхилення від площинності МЩ під час мінливості – зміни величини вологості та температури в приміщенні чи навколишньому середовищі. Запропоновано модель фізичних властивостей ламелей при кінцево-елементному аналізі МЩ на основі циліндричної системи координат анізотропії постійних пружності, так як це доречно через особливості форми – відхилення від ідеальності річних шарів. Запропоновано оптимальну схему компоновання суміжних рейок з відповідними кутами нахилу річних шарів в МЩ, що сприяє зменшенню величини стріли прогину під час суттєвого перепаду вологості у виробі. Розроблена модель фізичних властивостей букової деревини на основі методу скінченних елементів МЩ може бути використана для оптимізації щитових клеєних конструкцій з монолітної деревини за умовами деформативності, зокрема деталей меблів чи їх вузлових з'єднань.

4. Розроблено математичні моделі прогнозування формостійкості для меблевих щитів товщиною 24 мм із склеєних рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), а саме: залежність величини стріли прогину (формостійкості) $S_{рн}$ для монолітних рейок, залежність величини стріли прогину (формостійкості) $S_з$, що враховує кількість зрощених заготовок на 1 метр довжини та залежність величини стріли прогину (формостійкості) S_y , що враховує спосіб укладання. Розраховано коефіцієнти апроксимації для прогнозування характеристик МЩ.

Основні положення цього розділу наведено у публікаціях:

Статті у наукових фахових виданнях України

Подібка Т.І. Конструкції та технологічні аспекти меблевих щитів в нормативних документах // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2018, вип. 44. – С. 83-90. doi: <https://doi.org/10.36930/42184411> Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/7/6>

Подібка Т.І., Кійко О.А. Дослідження впливу поперечних розмірів букових рейок на формостійкість меблевих щитів // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2019, вип. 45. – С. 155-171. doi: <https://doi.org/10.36930/42194521> (Здобувачем особисто виконано експериментальні дослідження, їх аналіз та опис, висновки). Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1/1>

Подібка Т.І. Дослідження формостійкості меблевих щитів із деревини сосни різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2020, вип. 46. – С. 108-120. doi: <https://doi.org/10.36930/42204613> Посилання на статтю у фаховому збірнику (опублікований до 12 березня 2020 року): <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/5/4>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та додатково відображають наукові результати дисертації

Подібка Т.І. Розроблення математичних моделей прогнозування формостійкості меблевих щитів з використанням методу скінченних елементів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2021, вип. 47. – С. 73-91. doi: <https://doi.org/10.36930/42214809> Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/9>

Подібка Т.І. Встановлення закономірностей впливу характеристик рейок на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 41-57. doi: <https://doi.org/10.36930/42214804> Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/10/9>

РОЗДІЛ 3

3. МЕТОДИКА ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗДЕФЕКТНИХ ДІЛЯНОК СОСНОВИХ ТА БУКОВИХ ЛАМЕЛЕЙ НА ФОРМОСТІЙКІСТЬ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ

3.1. Загальна методика експериментальних досліджень формостійкості меблевих щитів

3.1.1. Характеристика матеріалів та методів, прийнятих для дослідження

Загальна методика експериментальних досліджень включає методику виготовлення звичайних меблевих щитів із деревини шпилькових порід та із деревини твердолистяних порід.

Серед вибраних порід дерев були:

- Заготовки шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*);
- Заготовки твердолистяних порід – бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.).

На підставі підібраних порід розроблено методичну сітку отримання експериментальних звичайних меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) різних конструкцій із рейок радіального та тангентального поперечного перерізу різної ширини, методику визначення формостійкості отриманих конструкцій меблевих щитів та методику порівняльного аналізу показників формостійкості меблевих щитів із деревини сосни різних конструкцій.

Паралельно запропоновано методику досліджень виготовлення звичайних меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) із рейок різної ширини та товщини.

Також обґрунтовано методику визначення формостійкості отриманих конструкцій меблевих щитів та методику порівняльного аналізу показників формостійкості меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій.

Отримані різні конструкції меблевих щитів із різних порід перевірялися на формостійкість згідно нормативних вимог.

Визначені показники відхилення від площинності порівнювалися із допустимим значенням, зокрема для розмірів експериментальних щитів в межах номінальних розмірів $400...630 \times 400...630$ мм обмеження становить 0,5 мм, що зазначено у стандарті ДСТУ EN 13353:2009 [76], а для відбору зразків використовували ДСТУ 3129:2015 [81].

Результати експериментальних досліджень дадуть можливість встановити закономірності згідно мети досліджень.

Для вирішення завдань застосовано плани другого порядку (модель квадратична), що оптимально описують об'єкт досліджень [70, 91, 120, 128-132].

Методи дослідження: план експерименту – розроблення регресійних моделей та їх аналізу [120]; статистики – опрацювання даних експериментальних досліджень [70, 91, 120].

3.1.2. Опис методу дослідження на формостійкість – розрахунок відхилень від площинності експериментального меблевого щита

Для визначення формостійкості використовувалися меблеві щити із сосни комбінованого укладання, тобто з почерговим укладанням радіальних (кут нахилу річних кілець у перерізі бездефектних відрізків – рейок до площини щита $61-90^\circ$) та тангентальних (кут нахилу річних кілець у перерізі бездефектних відрізків – рейок до площини щита $1-30^\circ$) розміром $480 \times 480 \times 20$ мм.

Для визначення формостійкості використовувалися меблеві щити із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) розміром $490 \times 490 \times 16$ мм, розміром $490 \times 490 \times 24$ мм., розміром $490 \times 490 \times 32$ мм, що піддавалися і не піддавалися впливу вологи та температури протягом терміну проведення експериментів. Для отримання величин стріл прогину застосовували пристрій з ЧПК (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Установка з числовим програмним управлінням для визначення стріли прогину (формостійкості) меблевих щитів

Значення числового індикатора ІГЦ (3)-25 зчитували пристроєм УІС-Р1-СОМ у двох перпендикулярних напрямках, як показано на рис. 3.2. Кожна лінія давала 400-500 замірів, що склало в загальному 9600-1200 точок. Розрахунковим значенням слугувало середнє із вибірки.

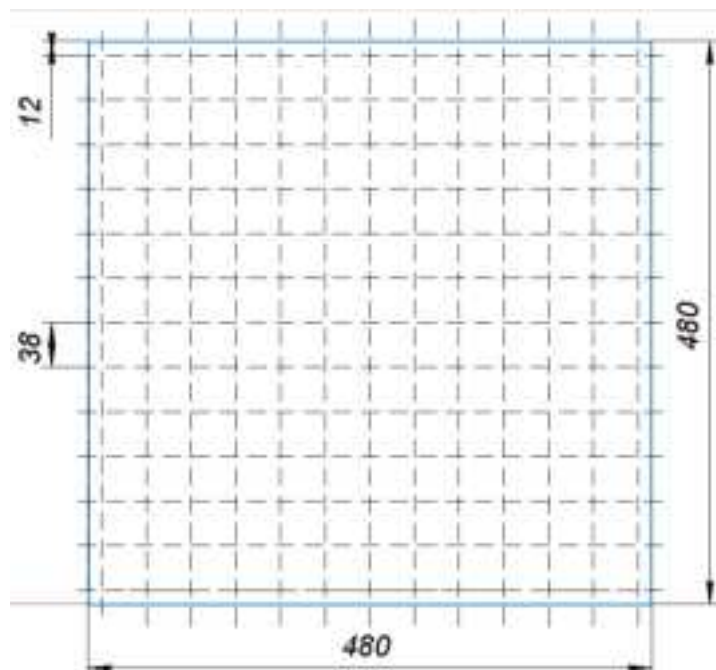


Рис. 3.2. Рух індикатора по площині меблевого щита

3.2. Дослідження показника формостійкості меблевих щитів із сосни

3.2.1. Методика дослідження меблевих щитів із деревини сосни

Так як встановлювались залежності характеристик складових компонентів – розмірних характеристик ширин рейок та виду випиляних пиломатеріалів (радіальних та тангентальних) меблевих щитів на величину стріли прогину, тобто формостійкість, то було реалізовано В-план (табл. 3.1).

Підготовлені рейки із масиву сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) радіального ($V_{\text{рад}}$) та тангентального ($V_{\text{тан}}$) поперечного перерізу виготовлялись шириною 20, 50 та 80 мм, що укладались в конструкцію щита почергово.

Таблиця 3.1

Матриця для змінних факторів, що описує планування експерименту

№		Прийняті для досліджень величини змінних факторів			
		Натуральне позначення		Кодоване позначення	
		$V_{\text{рад}}$	$V_{\text{тан}}$	x_1	x_2
ПФП 2	1	20	20	-1	-1
	2	80	20	1	-1
	3	20	80	-1	1
	4	80	80	1	1
Досліди зіркові	5	20	50	-1	0
	6	80	50	1	0
	7	50	20	0	-1
	8	50	80	0	1

Число повторень спортережень становило п'ять. Всього, для реалізації експериментальних досліджень було виготовлено згідно методичної сітки 9 (8 основних та один в центрі плану) видів меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) (рис. 3.3).

Для порівняння отриманих даних було використано нормативне значення 0,5 мм щодо площинності для ширини меблевих щитів 480 мм.

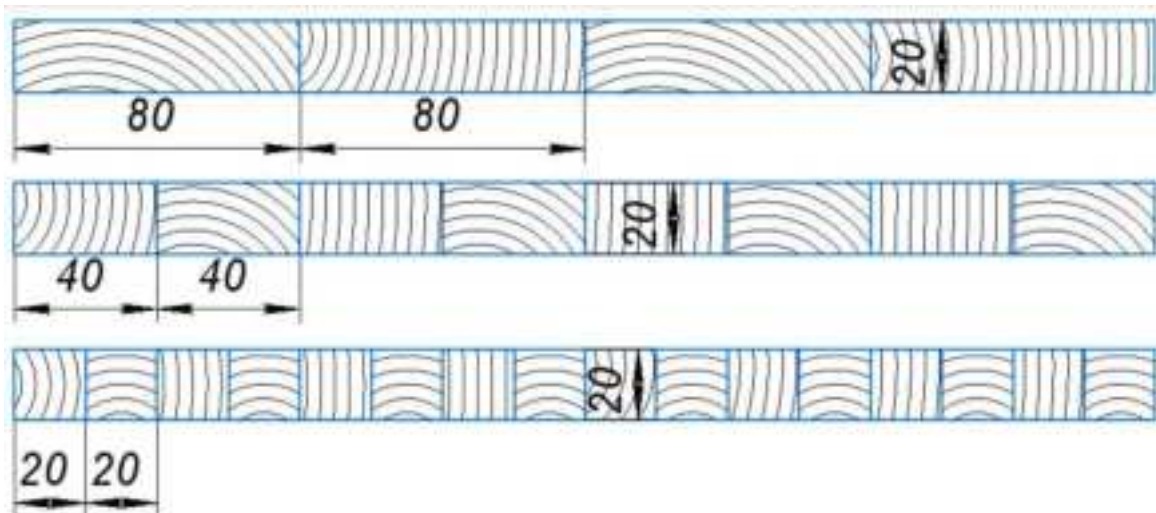


Рис. 3.3. Конструктивні схеми меблевих щитів із сосни комбінованого укладання для проведення експериментальних досліджень

Під час виготовлення меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) постійними факторами даного дослідження були нормальні температурно-вологісні показники : температура 19 ± 1 °С; вологість 60 ± 5 %; тиск 735 ± 5 мм рт. ст.; об'єм приміщення.

3.2.2. Методика виготовлення меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) різних конструкцій

Технологічний процес виготовлення меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) складався з наступних стадій: розкрій на чорнові рейки заготовки з припусками на обробку; чотирибічне фрезерування; вирізання дефектних місць та отримання бездефектних відрізків відповідних поперечних перерізів; чистове торцювання для отримання відповідної довжини; нанесення клею на крайки рейок; почергове укладання рейок у відповідності до конструкцій експериментальних меблевих щитів; склеювання на гладку фугу в пресі; технологічна витримка після процедури виготовлення експериментальних меблевих щитів різних конструкцій; калібрування меблевих щитів до відповідної товщини; розкрій отриманих експериментальних меблевих щитів за контуром; шліфування.

Для реалізації запланованих досліджень, що у матриці планування В-плану для двох змінних факторів (табл. 3.1) було використано у відповідності до розмірів:

- Заготовки шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*), шириною 24; 54; 84 мм, товщиною до проведення фрезерних робіт 24 мм
- Бездефектні відрізки сосни звичайної, торцьовані в розмір 500 мм.

Підготовка рейок шириною 20; 50; 80 мм, довжиною 500 мм та чистовою товщиною 20 мм проводилась на двобічному рейсмусовому верстаті.

Виготовлення експериментальних меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) включає чотирибічне фрезерування заготовок з отриманням в чистоті таких поперечних розмірів 20×20 мм, 50×20 мм, 80×20 мм, підбір рейок за шириною та за кутом нахилу річних шарів з почерговим укладанням радіальних (кут нахилу річних кілець у перерізі брусків 61-90 градусів) та тангентальних (кут нахилу річних кілець у перерізі брусків 1-30 градусів), нанесення клею, склеювання технологічна витримка (вологість – 50 ± 5 %, температура 20 ± 2 °C) протягом 8 год. Для виготовлення меблевого щита із сосни був використаний наступний режим: початкова вологість рейок – 10-12 %; тиск – 45-55 бар, час витримки – 5-6 хв, температура – 85-90 °C, витрати клею – 140-160 г/м²(рис. 3.4).



Рис. 3.4. Вигляди експериментальних зразків меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*)

Кінцевий етап виготовлення експериментальних меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) включає наступні операції: розкрій за контуром меблевого щита на розміри 480×480 мм, шліфування поверхонь меблевого щита для проведення досліджень на формостійкість, тобто визначення відхилень від площинності отриманих щитів.

3.2.3. Методика порівняльного аналізу показників формостійкості меблевих щитів із деревини сосни звичайної різних конструкцій

Хронологія вимірювань меблевих щитів із сосни була наступною:

- Перший замір здійснювали після технологічної витримки – 8 год.
- Другий замір – через 3 тижні від технологічної витримки МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.). Відхилення становили більше 5 %
- Останній – третій замір було проведено через шість тижнів.
- Заміри зупинили, оскільки дані вимірювань не відрізнялися більше, ніж на 5 % між суміжними замірами.

Для статистичних даних використовували величини стріл прогину як результат різниці третього та першого виміру.

3.3. Дослідження показника формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного

3.3.1. Методика реалізації композиційних планів для виготовлення меблевих щитів із деревини бука

Методика реалізації композиційних планів. Так як дослідження базувалися на вивченні показника формостійкості від залежності характеристик структурних компонентів – розмірних характеристик рейок, зокрема товщини та ширини, то було реалізовано два В-плани другого порядку:

1) перший для встановлення співвідношення сторін перерізу рейок – товщина/ширина, зокрема товщиною ($V_{\text{тов}} = 16, 24, 32$ мм) та шириною ($V_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм) (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Матриця для змінних факторів, що описує планування експерименту

№		Прийняті для досліджень величини змінних факторів			
		Натуральне позначення		Кодоване позначення	
		$V_{\text{тов}}$	$V_{\text{шир}}$	x_1	x_2
План-2	1	16	36	-1	-1
	2	32	36	1	-1
	3	16	84	-1	1
	4	32	84	1	1
Досліди зіркові	5	16	60	-1	0
	6	32	60	1	0
	7	24	36	0	-1
	8	24	84	0	1

2) другий для встановлення впливу кутів нахилу річних кілець до пласти щита та ширини рейки, зокрема було прийнято: 15 – тангентальний 0-30°; 45 – напіврадіальний 31-60°; 75 – радіальний 61-90° та ширину ($V_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм) (табл. 3.3). Було проведено 8 основних та один додатковий дослід в центрі плану. Число повторень спортерезень становило п'ять. Згідно матриці експерименту було зроблено дев'ять видів меблевих щитів із прийнятих порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) у відповідності з поперечними перерізами рейок (рис. 3.5).

Таблиця 3.3

Матриця для змінних факторів, що описує планування експерименту

№ дослідю		Прийняті для досліджень величини змінних факторів			
		Натуральне позначення		Кодоване позначення	
		$V_{\text{тов}}$	$V_{\text{шир}}$	x_1	x_2
План-2	1	15	36	-1	-1
	2	75	36	1	-1
	3	15	84	-1	1
	4	75	84	1	1
Досліди зіркові	5	15	60	-1	0
	6	75	60	1	0
	7	45	36	0	-1
	8	45	84	0	1

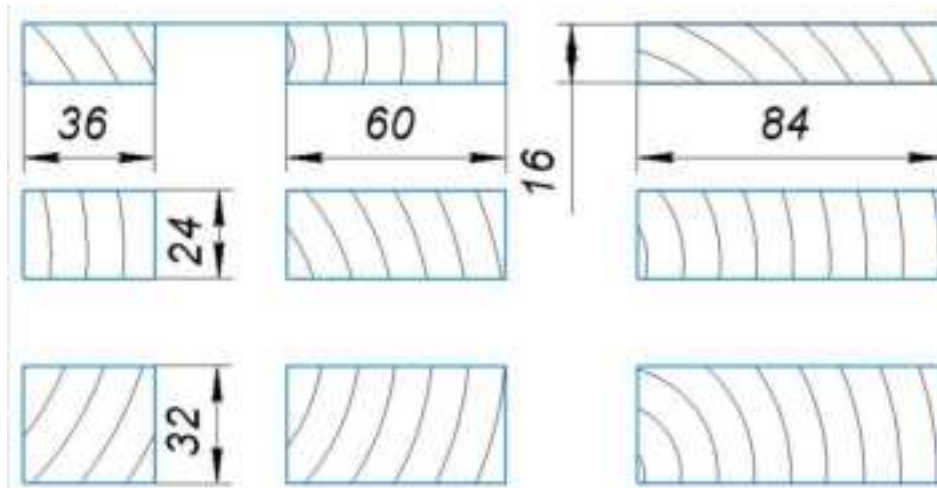


Рис. 3.5. Перерізи рейок для різних конструкцій меблевих щитів із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)

Постійні фактори: Під час виготовлення меблевих щитів із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) постійними факторами даного дослідження були нормальні температурно-вологісні показники : температура 19 ± 1 °С; вологість 60 ± 5 %; тиск 735 ± 5 мм рт. ст.; об'єм приміщення.

3.3.2. Методика виготовлення меблевих щитів із деревини бука

Для виготовлення меблевих щитів були використані заготовки твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), шириною 40; 64; 88 мм, товщиною до проведення фрезерних робіт 20, 28, 36 мм. Після зрощування ламелі із бука, торцювалися в розмір 1000 мм. Підготовка рейок ширинами 36; 60; 84 мм та товщинами 18, 26, 34 мм проводилась на чотирибічному верстаті. Після склеювання і технологічної витримки щити калібрували. Калібровані МЩ мали товщину 16 мм, 24 мм, 34 мм.

Виготовлення експериментальних меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) включає: чотирибічне фрезерування заготовок з отриманням в чистоті таких поперечних розмірів для ширини 36 мм: 18×36 мм, 26×36 мм, 34×36 мм; для ширини 60 мм: 18×60 мм, 26×60 мм, 34×60 мм; для ширини 84 мм: 18×84 мм, 26×84 мм, 34×84

мм; підбір рейок за шириною та за товщиною з почерговим укладанням, нанесення клею на крайки рейок, склеювання, технологічна витримка (вологість – 50 ± 5 %, температура 20 ± 2 °С) протягом 6-9 год (рис. 3.6). Здійснення калібрування до товщини 16 мм, 24 мм, 32 мм та розкрій поперек щита на довжину 500 мм. Для виготовлення МЩ із бука був використаний наступний режим: початкова вологість рейок – 8 ± 2 %; тиск – 80-110 бар, час витримки – 5-6 хв, температура – 88-92 °С, витрати клею – 170-190 г/м².



Рис. 3.6. Стопа некаліброваних меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука на стелажах технологічної витримки

Кінцевий етап виготовлення експериментальних меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука включає наступні операції: обробка за контуром меблевого щита на розміри 490×490 мм, чистове шліфування поверхонь МЩ для проведення досліджень на формостійкість – визначення відхилень від площинності отриманих щитів (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Експериментальні партії меблевих щитів різних конструкцій із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) для випробувань на формостійкість

3.3.3. Методика порівняльного аналізу показників формостійкості експериментальних меблевих щитів із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)

Хронологія вимірювань меблевих щитів із бука була наступною:

- Перший замір здійснювали після технологічної витримки – 8 год.
- Другий замір – через 3 тижні від технологічної витримки МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.). Відхилення становили більше 5 %.
- Останній – третій замір було проведено через шість тижнів.
- Заміри зупинили, оскільки дані вимірювань не відрізнялися більше, ніж на 5 %.

Для статистичних даних використовували величини стріл прогину як результат різниці третього та першого виміру.

3.4. Висновки до методичного розділу

1. Обґрунтовано та запропоновано загальну методику експериментальних досліджень із встановлення закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів.

2. Описано метод дослідження на формостійкість меблевого щита шляхом встановлення відхилень від площинності експериментальних взірців на пристрої з числовим програмним управлінням, що значно пришвидшело процес зняття показників.

3. Побудовано матрицю планування В-плану для двох змінних факторів для отримання експериментальних меблевих щитів, в яких сформовані ламелі із деревини сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) радіального ($B_{\text{рад}}$) та тангентального ($B_{\text{тан}}$) поперечного перерізу шириною 20, 50 та 80 мм, що укладались в конструкцію щита почергово. Результати цього дослідження дали змогу отримати регресійну модель, що описує залежності показника стріли прогину

від впливу ширин рейок та їх укладання в конструкцію плити з черговістю радіальних та тангентальних ламелей.

4. Побудовано матрицю планування В-плану для двох змінних факторів для отримання експериментальних меблевих щитів, в яких сформовані ламелі із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різного поперечного перерізу, зокрема товщиною ($V_{\text{тов}} = 16, 24, 32$ мм) та шириною ($V_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм), що склеювались крайками на гладку фугу та формували різні конструкції клеєних щитів. Результати цього дослідження дали змогу отримати регресійну модель, що описує залежності показника стріли прогину від впливу ширин та товщин рейок, тобто поперечного перерізу для встановлення раціональних співвідношень, що забезпечувало б значення стріли прогину в межах норми.

5. Побудовано матрицю планування В-плану для двох змінних факторів для отримання експериментальних меблевих щитів в яких рейки із масиву бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різного поперечного перерізу, зокрема товщиною 24 мм, шириною ($V_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм) та кутом нахилу річних шарів, A_n : тангентальний 0-30°; напіврадіальний 31-60°; радіальний 61-90° склеювались крайками на гладку фугу, що і формувало різні конструкції клеєних щитів для визначення впливу змінних факторів. Результати цього дослідження дали змогу отримати регресійну модель, що описує залежності показника стріли прогину від впливу ширин та кутів нахилу річних кілець до пласті щита, а це відповідно забезпечувало б значення стріли прогину в межах норми.

6. Результат експерименту за наведеними методичними сітками ляже в основу отримання практичних рекомендацій для виробничих умов.

Основні положення цього розділу наведено у публікаціях:

Статті у наукових фахових виданнях України

Подібка Т.І. Конструкції та технологічні аспекти меблевих щитів в нормативних документах // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2018, вип. 44. – С. 83-90. doi: <https://doi.org/10.36930/42184411> Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/7/6>

Подібка Т.І., Кійко О.А. Дослідження впливу поперечних розмірів букових рейок на формостійкість меблевих щитів // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2019, вип. 45. – С. 155-171. doi: <https://doi.org/10.36930/42194521> (Здобувачем особисто виконано експериментальні дослідження, їх аналіз та опис, висновки). Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1/1>

Подібка Т.І. Дослідження формостійкості меблевих щитів із деревини сосни різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2020, вип. 46. – С. 108-120. doi: <https://doi.org/10.36930/42204613> Посилання на статтю у фаховому збірнику (опублікований до 12 березня 2020 року): <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/5/4>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та додатково відображають наукові результати дисертації

Подібка Т.І. Розроблення математичних моделей прогнозування формостійкості меблевих щитів з використанням методу скінченних елементів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2021, вип. 47. – С. 73-91. doi: <https://doi.org/10.36930/42214809> Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/9>

Подібка Т.І. Встановлення закономірностей впливу характеристик рейок на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 41-57. doi: <https://doi.org/10.36930/42214804> Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/10/9>

РОЗДІЛ 4.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ ФОРМОСТІЙКОСТІ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ З ДЕРЕВИНИ РІЗНИХ ПОРІД

4.1. Дослідження показника формостійкості меблевих щитів із деревини сосни звичайної (*Pinus sylvestris*)

4.1.1. Залежність показника формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини сосни від їх геометричних характеристик

Після завершення обробки експериментальних даних було одержано регресійне рівняння, що характеризує залежність величини стріли прогину S_c від ширини структурних елементів, тобто ширини рейок з сосни (радіал) $V_{\text{рад}}$ (x_1) та з сосни (тангентал) $V_{\text{тан}}$ (x_2) [129].

Визначене рівняння регресії для нормалізованих значень змінних факторів експерименту має наступний вигляд:

$$y_c = 0,171 + 0,072x_1 + 0,107x_2 + 0,020x_1^2 + 0,011x_2^2 + 0,042x_1x_2. \quad (4.1)$$

Вигляд рівняння регресії для величин стріл прогину в натуральних значеннях змінних факторів:

$$S_c = 0,0821 - 0,0021V_{\text{рад}} + 0,0001V_{\text{тан}} + 0,000022V_{\text{рад}}^2 + 0,000012V_{\text{тан}}^2 + 0,000046V_{\text{рад}}V_{\text{тан}}, \quad (4.2)$$

де: $V_{\text{рад}}$ – ширина ламелі (рейки) з сосни (радіал) розмірами 20, 50, 80 мм; $V_{\text{тан}}$ – ширина ламелі (рейки) з сосни (тангентал) розмірами 20, 50, 80 мм; S_c – усереднене відхилення від площинності, тобто стріла прогину.

За результатами аналізу отриманого рівняння регресії робимо висновок про те, що ширина рейок в конструкції меблевих щитів суттєво впливає на формостійкість конструкції. Обидва змінних фактори впливають прямопропорційно. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) з почерговим

укладанням за кутом нахилу річних шарів радіальних (кут нахилу річних кілець у перерізі бездефектних відрізків – рейок до площини щита 61-90 градусів) та тангентальних (кут нахилу річних кілець у перерізі бездефектних відрізків – рейок до площини щита 1-30 градусів) впливає другий фактор $V_{\text{тан}} (x_2)$ – ширина тангентальних рейок. Вплив другого фактору на формостійкість у порівнянні з першим (радіал) $V_{\text{рад}} (x_1)$ є в 1,56 рази більшим. Графічна інтерпретація залежності представлена на рис. 4.1 та 4.2.

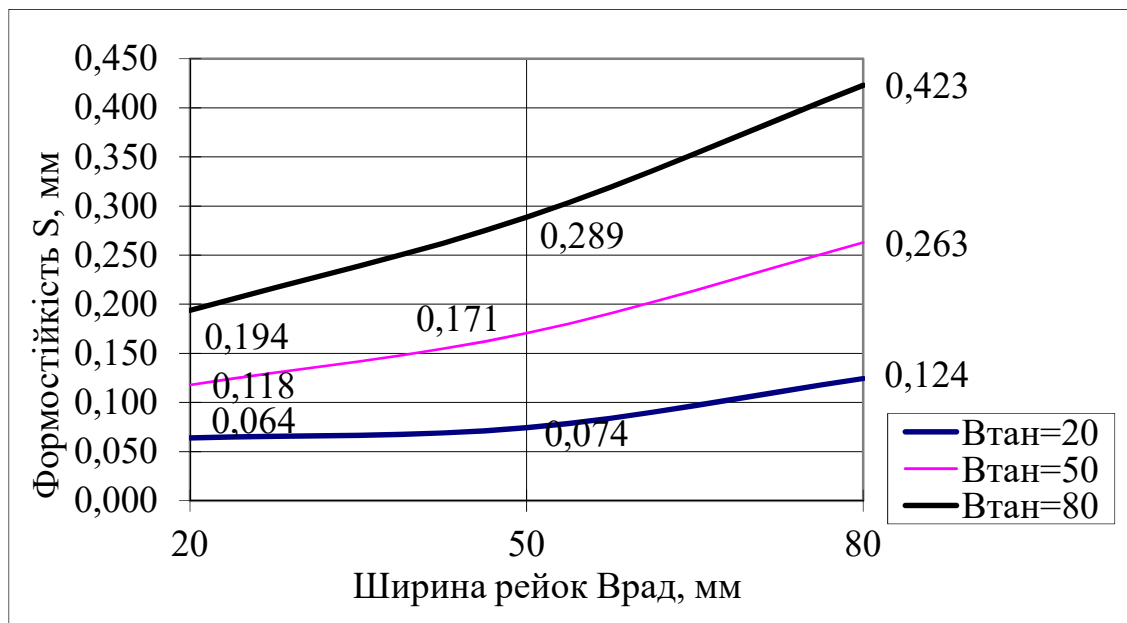


Рис. 4.1. Залежність стріли прогину S_c (від площинності) меблевого щита від ширини рейки з сосни (радіал) $V_{\text{рад}} (x_1)$

Як видно з рис. 4.1, збільшення ширини ламелі (рейки) з сосни (радіал.) $V_{\text{рад}} (x_1)$ МЩ не призводить до суттєвого збільшення відхилення S_c . Натомість, тенденція щодо залежності впливу ширини рейки з сосни (тангентал.) $V_{\text{тан}} (x_2)$ на відхилення меблевого щита від площинності є суттєвою (рис. 4.2). Стріла прогину відповідає вимогам норми майже для всіх щитів (0,3 мм), крім одного, де є почергове укладання рейок шириною 80 мм. За укладання радіальної рейки шириною 80 мм, тангентальна не може бути ширшою, ніж 60 мм, так як значення стріли прогину від площинності буде більшим за нормоване значення, тобто 0,3 мм для ширини МЩ до 500 мм. Якщо прийняти норму 0,5 мм, то для всіх умова виконується.

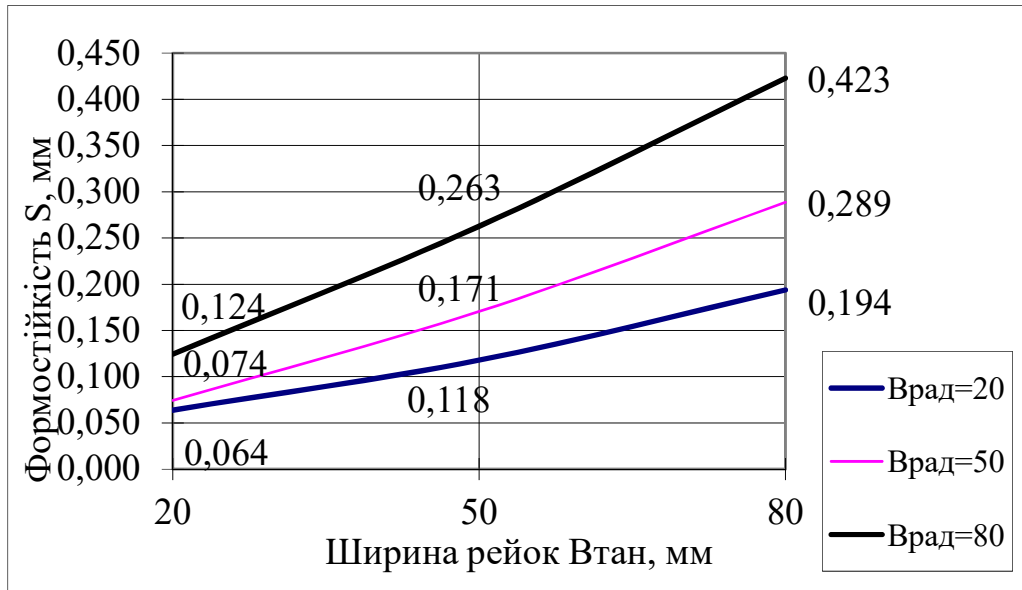


Рис. 4.2. Залежність стріли прогину S_c (від площинності) меблевого щита від ширини ламелі (рейки) з сосни (тангентал) $V_{\text{тан}}$ (x_2)

Виконано оптимізацію ширини рейок і завдяки градієнтного методу визначено мінімальне значення відхилення $S_{c,\text{min}} = 0,064$ мм, яке можна отримати за комбінованого укладання при таких розмірах: сосни (радіал) $V_{\text{рад}}$ (x_1) = 20 мм; ширина ламелі (рейки) з сосни (тангентал) $V_{\text{тан}}$ (x_2) = 20 мм (рис. 4.3).

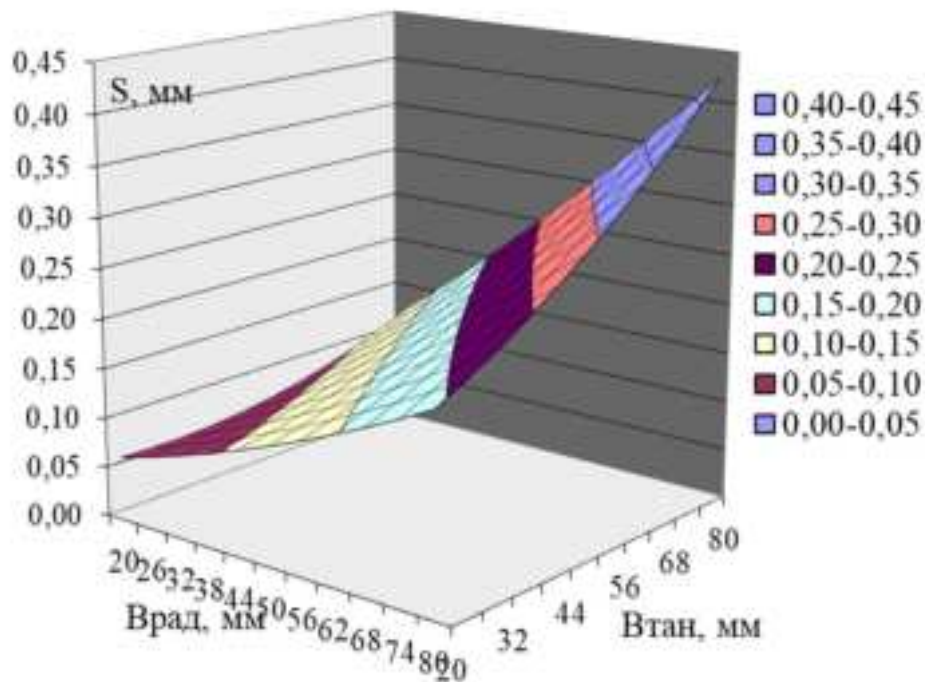


Рис. 4.3. Залежність стріли прогину S_c (від площинності) меблевого щита від ширини рейки з сосни почергового укладання (радіал – тангентал)

4.1.2. Результати порівняльного аналізу показників формостійкості меблевих щитів із деревини сосни різних конструкцій

Порівняльний аналіз формостійкості МЩ із сосни різних конструкцій. В результаті проведення основного експерименту були отримані дані формостійкості із рейок радіального та тангентального поперечного перерізу однакової ширини 50 мм (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Результати трьох вимірювань величин стріл прогину меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) для рейок однакової ширини

Конструкції МЩ із сосни	Розрахунок	Норма	% норми
МЩ (рейки 50 мм, рад-тан)	0,171	0,3	57
МЩ (рейки 50 мм, радіал)	0,072	0,3	24
МЩ (рейки 50 мм, тангентал)	0,363	0,3	121

Як видно з гістограми рис. 4.4. найкращу формостійкість мають меблеві щити із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) шириною рейок 50 мм радіального нахилу річних кілець, де величина відхилення від площинності становить : 0,072 мм.

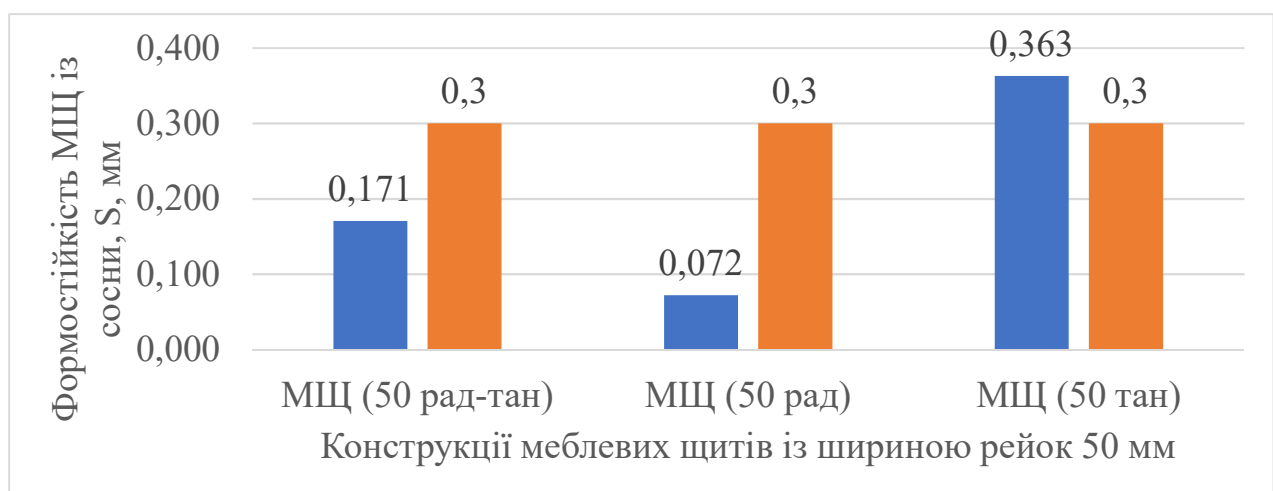


Рис. 4.4. Гістограма формостійкості МЩ із сосни різних конструкцій

Комбіновані (почергового укладання рейок радіального та тангентального нахилу річних кілець) меблеві щити із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) шириною рейок 50 мм мають також нижче від

нормативного відхилення від площинності, яке становить 0,171 мм. Третя конструкція МЩ із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) шириною рейок 50 мм тангентального нахилу річних кілець, має найвище відхилення від площинності 0,363 мм, що також менше від нормативного значення – 0,5 мм. Зміна площинності МЩ із сосни для прийнятих конструкцій для трьох замірів подана у табл. 4.2

Таблиця 4.2

Результати трьох вимірювань величин стріл прогину меблевих щитів з різною шириною рейок

Конструкції МЩ різної ширини	1 вимір.	2 вимір.	3 вимір.	Норма	% зміни 1	% зміни 2
МЩ рад із рейок шириною 20 мм	0,064	0,070	0,073	0,3	9,1	4,0
МЩ рад із рейок шириною 50 мм	0,171	0,185	0,193	0,3	7,4	4,3
МЩ рад із рейок шириною 80 мм	0,423	0,474	0,497	0,3	10,7	4,8

Найбільшої зміни (10,7 %) в площинності зазнали МЩ із сосни з шириною рейки 80 мм після 2-го заміру, і найбільшої – після 3-го заміру – тільки 4,8 %. Діапазон інших МЩ становив 7,4-9,1 % для , а для третього – значення зміни стали менші 5%, що в рамках похибки. Стріла прогину для експериментальних щитів була меншою, ніж 0,5 мм для ширини експериментальних плит 480 мм (рис. 4.5).

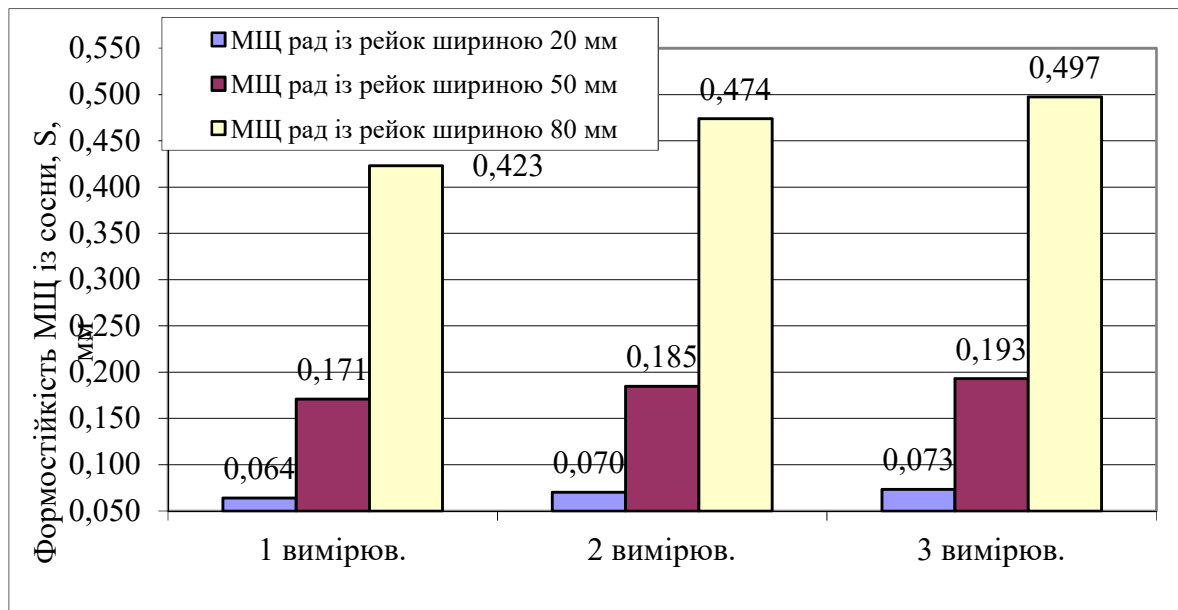


Рис. 4.5. Гістограма формостійкості меблевих щитів із сосни для рейок різної ширини після трьох вимірювань

4.2. Дослідження показника формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) за нормальних умов експлуатації

4.2.1. Залежність показника формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) від їх геометричних характеристик

Після завершення обробки експериментальних даних було одержано регресійне рівняння, що характеризує залежність величини стріли прогину S_6 від товщини рейок $V_{\text{тов}}$ (x_1), та ширини рейок $V_{\text{шир}}$ (x_2) [133].

Визначене рівняння регресії для нормалізованих значень змінних факторів експерименту має наступний вигляд:

$$y_6 = 0,178 - 0,094x_1 + 0,123x_2 + 0,023x_1^2 + 0,029x_2^2 - 0,054x_1x_2 \quad (4.3)$$

Рівняння регресії для величин стріл прогину в натуральних значеннях змінних факторів: $x_1 = (V_{\text{тов}} - 24)/8$; $x_2 = (V_{\text{шир}} - 60)/24$, записується:

$$S_6 = 0,0058 - 0,012175V_{\text{тов}} + 0,00592V_{\text{шир}} + 0,00036V_{\text{тов}}^2 + 0,00005V_{\text{шир}}^2 + 0,00028V_{\text{тов}}V_{\text{шир}} \quad (4.4)$$

де: $V_{\text{тов}}$ – товщина ламелі (рейки) з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L) розмірами 16, 24, 32 мм; $V_{\text{шир}}$ – ширина ламелі (рейки) з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) розмірами 36, 60, 84 мм; S_6 – усереднене відхилення від площинності, тобто стріла прогину.

За результатами аналізу отриманого рівняння регресії робимо висновок про те, що товщина та ширина рейок в конструкції меблевих щитів із деревини бука суттєво впливає на формостійкість конструкції. Обидва змінних фактори впливають по різному: товщина – оберненопропорційно, тобто забезпечує та покращує формостійкість конструкції, ширина – прямопропорційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з почерговим укладанням впливає другий фактор $V_{\text{шир}}$ (x_2) – ширина рейок. Вплив першого фактору $V_{\text{тов}}$ (x_1) на формостійкість у порівнянні

з другим $V_{\text{шир}} (x_2)$ є в 1,7 рази меншим. Графічна інтерпретація залежності на рис. 4.6 та 4.7.

Як видно з рис. 4.6, збільшення товщини рейок з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) МЩ призводить до суттєвого зменшення *стріли прогину* S_6 , мм. З графіка видно, що збільшення товщини заготовки від 16 до 24 мм призводить до зменшення *стріли прогину* меблевого щита, зокрема для ширини 36 мм на 74,52 %, для ширини 60 мм на 65,06 %, для ширини 84 мм на 51,38 %. А в діапазоні зміни товщини заготовок від 24 до 32 мм зростання *стріли прогину* меблевого щита, зокрема для ширини 36 мм становить 26,68 %; для для ширини 60 мм на 66,26 %; для ширини 84 мм на 60,45 %. За результатами проведених розрахунків робимо висновок про те, що вплив товщин заготовок на прогин меблевого щита проявляється у такій динаміці: для заготовок товщиною від 16 до 24 мм (для різних ширин) і становить зростання в середньому на 64 %, а на проміжку від 24 до 32 мм – середнє зростання стновить 51 %.

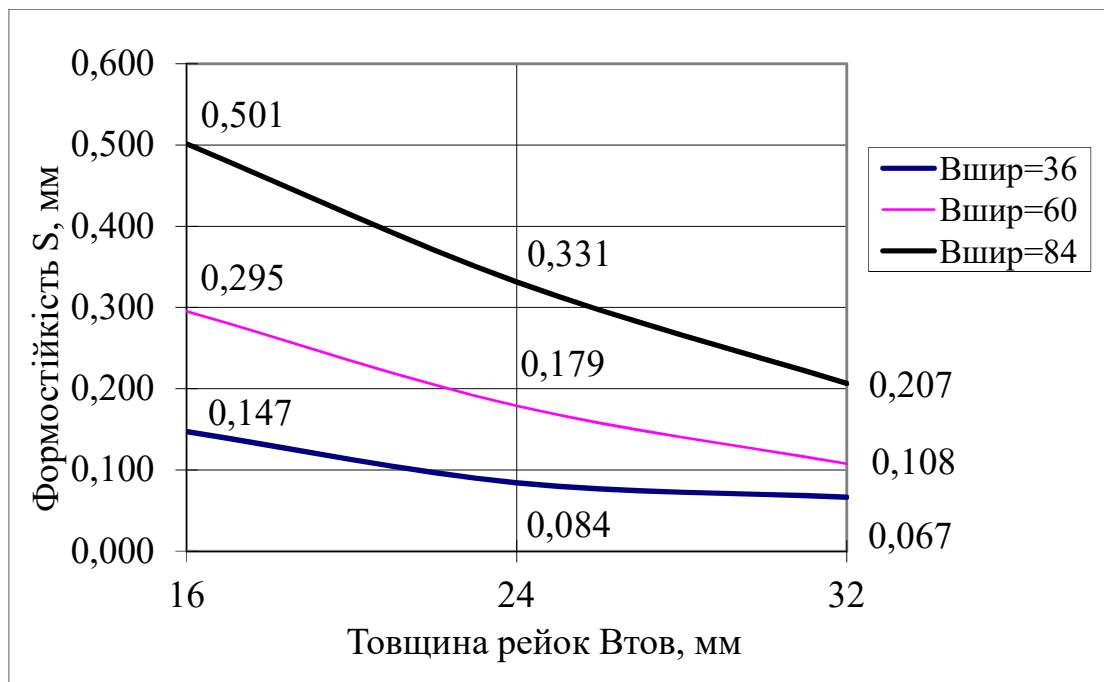


Рис. 4.6. Залежність стріли прогину S_6 (від площинності) меблевого щита від товщини рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $V_{\text{тов}} (x_1)$

Натомість, тенденція щодо залежності впливу ширини рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $V_{\text{шир}} (x_2)$ на *стрілу прогину* S_6 , мм меблевого щита від площинності є менш суттєвою (рис. 4.7). З графіка видно, що

збільшення ширини заготовки від 36 до 60 мм призводить до зростання *стріли прогину* меблевого щита, зокрема для товщини 16 мм на 38,12%, для товщини 24 мм на 52,85 %, для товщини 32 мм на 41,09 %. А в діапазоні зміни ширини заготовок від 60 до 84 мм зростання *стріли прогину* меблевого щита, зокрема для товщини 16 мм становить 47,89 %; для товщини 24 мм на 46,01 %; для товщини 32 мм на 50,15 %. За результатами проведених розрахунків робимо висновок про те, що вплив ширини заготовок на прогин меблевого щита проявляється у такій динаміці: для заготовок шириною від 36 до 60 мм (для різних кутів нахилу річних шарів) і становить зростання в середньому на 44 %, а на проміжку від 60 до 84 мм – середнє зростання становить 48 %.

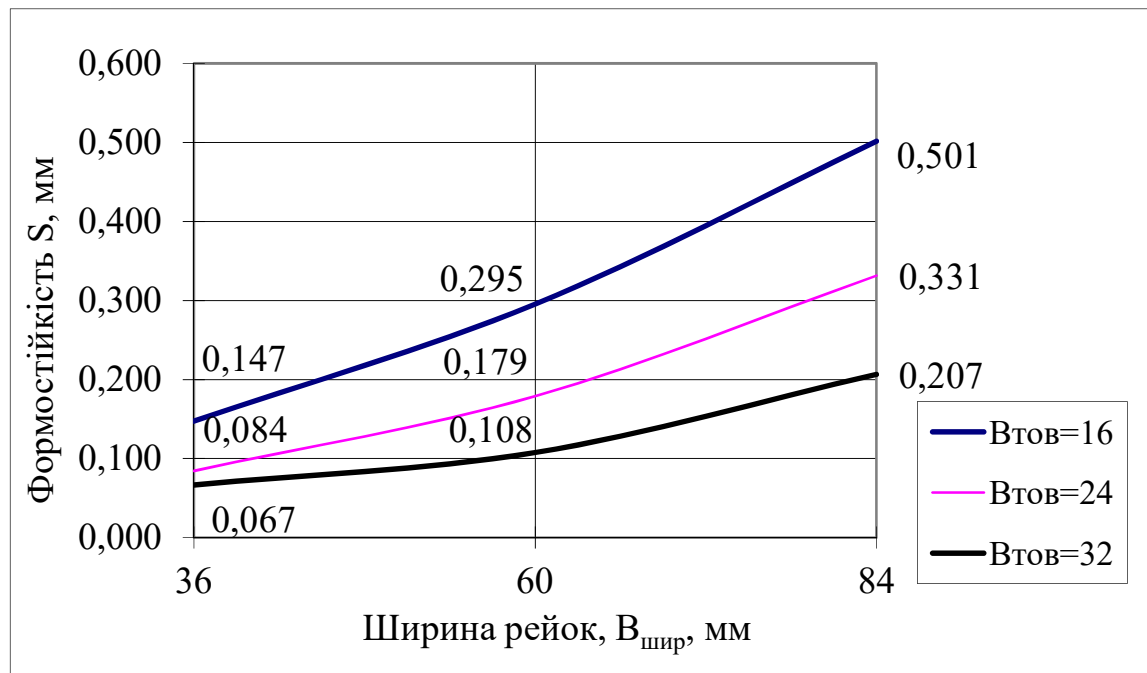


Рис. 4.7. Залежність стріли прогину S_6 (від площинності) меблевого щита від ширини ламелі (рейки) з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $V_{шир}$ (x_2)

Виконано оптимізацію товщини та ширини рейок і завдяки градієнтного методу визначено мінімальне значення відхилення $S_{6,min} = 0,067$ мм, можна за комбінованого укладання за таких величин: товщини рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $V_{тов}$ (x_1) = 32 мм; ширини ламелі (рейки) з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) (тангентал.) $V_{шир}$ (x_2) = 36 мм (рис. 4.8).

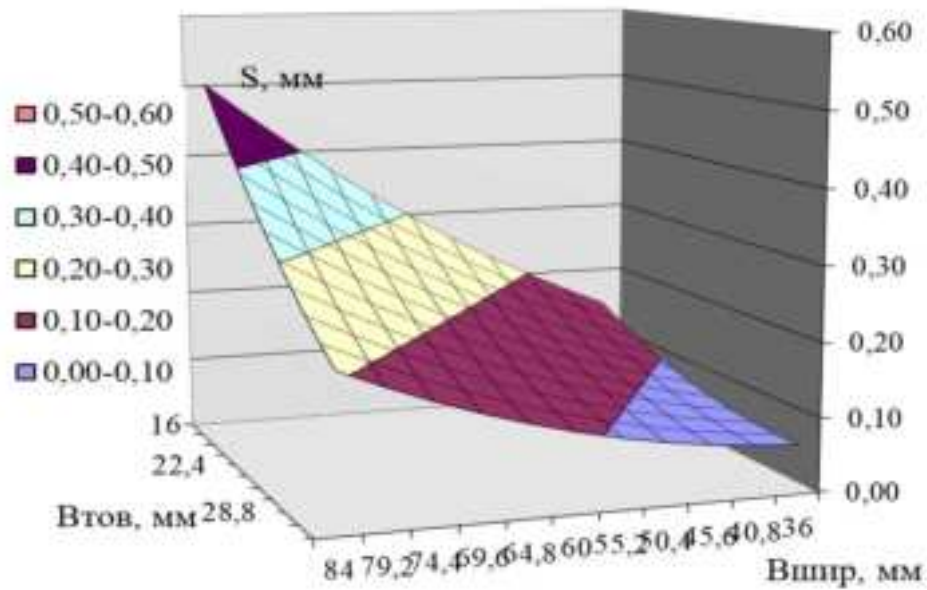


Рис. 4.8. Залежність середнього відхилення S_6 (від площинності) меблевого щита від товщини та ширини рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)

4.2.2. Результати порівняльного аналізу показників формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різних конструкцій

В результаті проведення основного експерименту були отримані дані формостійкості із рейок однакової ширини 60 мм для різних товщин (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Результати трьох вимірювань величин стріл прогину меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) для рейок однакової ширини

Конструкції МЩ для різної товщини	Розрахунок	Норма	% норми	Норма	% норми
МЩ (60 x 16)	0,295	0,3	98	0,4	74
МЩ (60 x 24)	0,179	0,3	60	0,4	45
МЩ (60 x 32)	0,108	0,3	36	0,4	27

Як видно з гістограми рис. 4.9. найкращу формостійкість мають меблеві щити із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) шириною рейок 60 мм при товщині 32 мм, де відхилення від площинності становить: 0,108 мм.

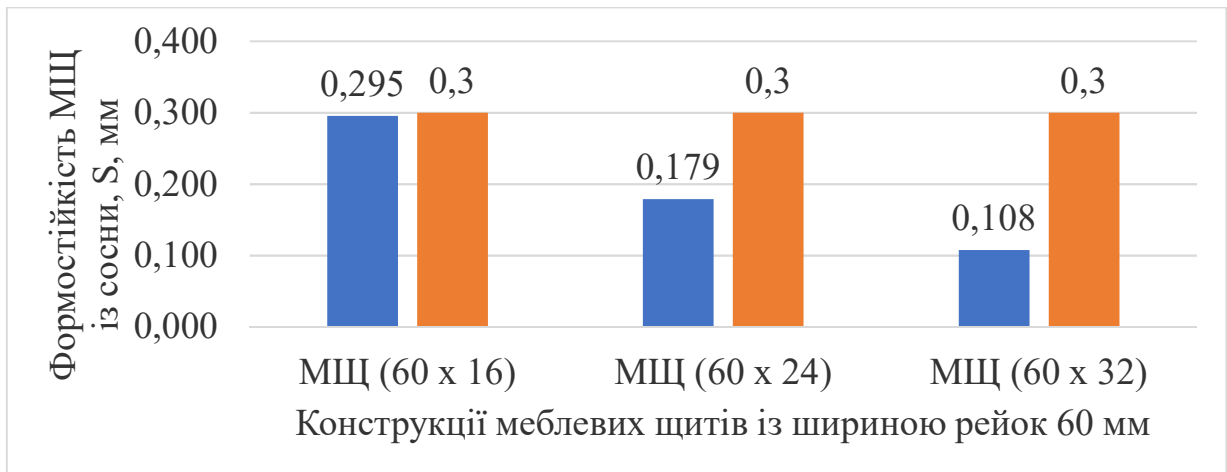


Рис. 4.9. Гістограма формостійкості МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різних конструкцій

Меблеві щити із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з поперечними перерізами рейок 60 x 24 мм мають також нижче від нормативного відхилення від площинності, яке становить 0,179 мм. Третя конструкція МЩ із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з поперечними перерізами рейок 60 x 16 мм має найвище відхилення від площинності 0,295 мм, що вписується в нормативне значення – 0,5 мм. Зміна площинності МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різних конструкцій протягом двох тижнів після трьох разового вимірювання представлена у табл. 4.4.

Таблиця 4.4.

Результати трьох вимірювань величин стріл прогину меблевих щитів з різною шириною рейок

Конструкції МЩ різної ширини	1 вимір.	2 вимір.	3 вимір.	Норма	% зміни 1	% зміни 2
МЩ (24 x 36)	0,084	0,090	0,092	0,5	7	2
МЩ (24 x 60)	0,179	0,194	0,201	0,5	8	3
МЩ (24 x 84)	0,331	0,364	0,378	0,5	9	4

Найбільшої зміни (9 %) в площинності зазнали МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з шириною рейки 84 мм після 2-го заміру, а також після 3-го заміру – де показник показав зміну 4 %. Інші зміни мали менший діапазон, що в рамках похибки. Стріла прогину для експериментальних щитів була меншою, ніж 0,5 мм для ширини експериментальних щитів 490 мм (рис. 4.10).

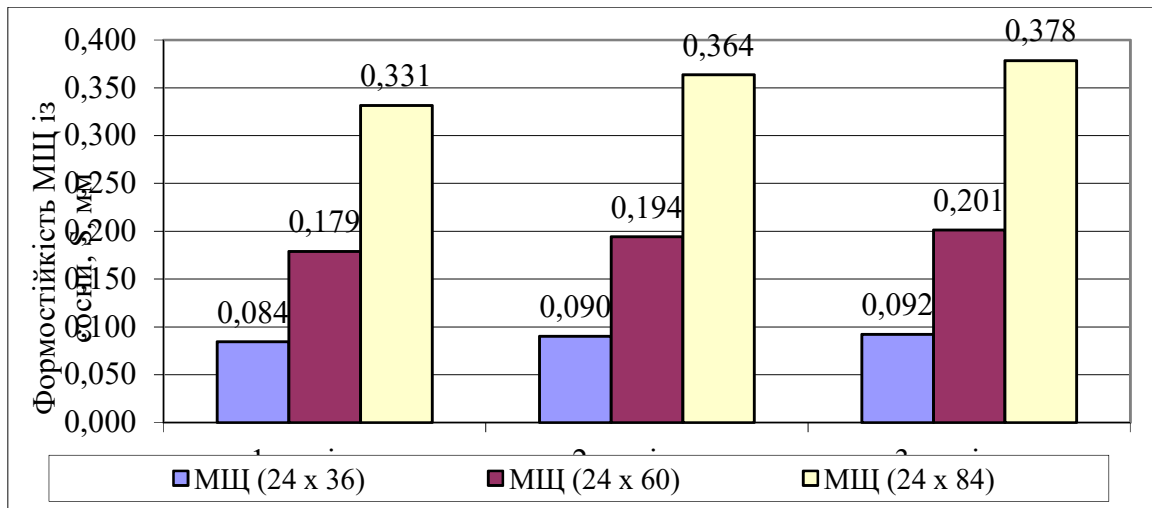


Рис. 4.10. Гістограма формостійкості меблевих щитів із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) для рейок різної ширини після трьох вимірювань

4.2.3. Залежність показника формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) від характеристик ламелі

Після завершення обробки експериментальних даних було одержано регресійне рівняння, що характеризує залежність величини стріли прогину $S_{рн}$ від величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ $A_n(x_1)$, та ширини рейок $B_{шир}(x_2)$ [128].

Визначене рівняння регресії для нормалізованих значень змінних факторів експерименту має наступний вигляд:

$$y_{рн} = 0,240 - 0,152x_1 + 0,142x_2 + 0,042x_1^2 + 0,068x_2^2 - 0,055x_1x_2. \quad (4.5)$$

Рівняння регресії для величин стріл прогину в натуральних значеннях змінних факторів з врахуванням формул переводу: $x_1 = (A_n - 45)/30$; $x_2 = (B_{шир} - 60)/24$, записується:

$$S_{рн} = 0,42775 - 0,00477A_n - 0,00484B_{шир} + 0,000047 A_n^2 + 0,000118B_{шир}^2 - 0,000076 A_n B_{шир}, \quad (4.6)$$

де: A_n – величина кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ (x_1 : 15 – тангентальний 0-30°; 45 – напіврадіальний 31-60°; 75 – радіальний 61-90°); $B_{шир}$ – ширина ламелі (рейки) з бука звичайного (*Fagus*

sylvatica L.) розмірами 36, 60, 84 мм; $S_{рн}$ – усереднене відхилення від площинності, тобто стріла прогину.

За результатами аналізу отриманого рівняння регресії робимо висновок про те, що величина кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ та ширина рейок в конструкції меблевих щитів суттєво впливає на формостійкість конструкції. Обидва змінних фактори впливають по різному: збільшення кута – зменшує стрілу прогину, ширина – прямопропорційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з почерговим укладанням впливає перший фактор $A_n(x_1)$ – величина кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ. Графічна інтерпретація залежності представлена на рис. 4.11 та 4.12.

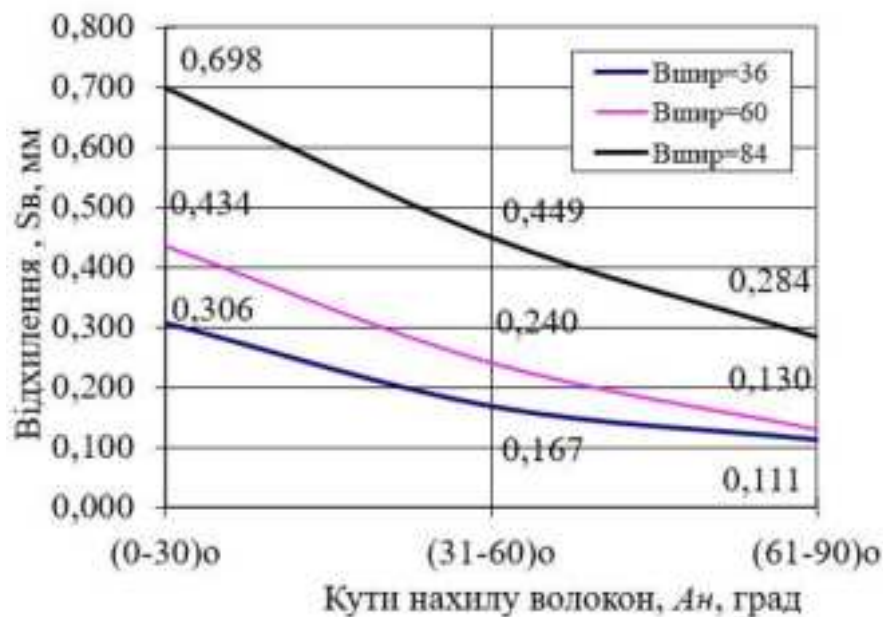


Рис. 4.11. Залежність стріли прогину $S_{рн}$ (від площинності) меблевого щита від кута нахилу річних шарів в рейках $A_n(x_1)$

Як видно з рис. 4.11, збільшення кута нахилу річних шарів в рейках з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $A_n(x_1)$ МЩ призводить до суттєвого зменшення стріли прогину $S_{рн}$, мм. Зменшення кута нахилу річних шарів від 90° до 45° суттєво впливає на стрілу прогину (50,68 %), а подальше зменшення кута нахилу від 45° до 0° характеризується більшою динамікою показника (83,57 %), меблевого щита, зокрема для ширини рейок 36 мм. Тобто, вплив кута нахилу

річних шарів на прогин меблевого щита з масивної деревини характеризується різким збільшенням прогину за зменшення кута нахилу від 45° до 0° і дещо меншим збільшенням прогину для кута нахилу від 45° до 90° .

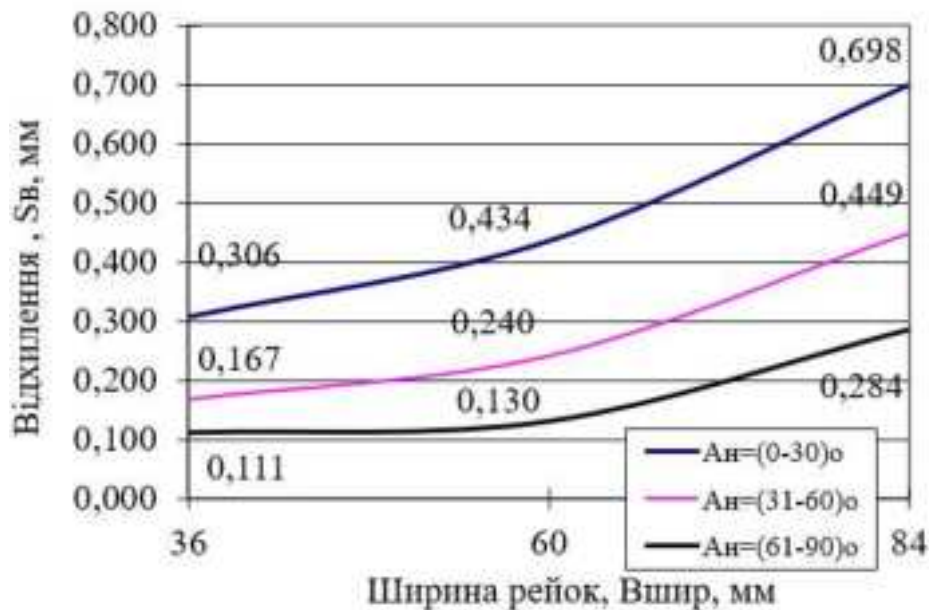


Рис. 4.12. Залежність стріли прогину $S_{рн}$ (від площинності) меблевого щита від ширини ламелі (рейки) з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $V_{шир}$ (x_2)

Натомість, тенденція щодо залежності впливу ширини рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $V_{шир}$ (x_2) на стрілу прогину $S_{рн}$, мм меблевого щита від площинності є менш суттєвою (рис. 4.12). З графіка видно, що збільшення ширини заготовки від 36 до 60 мм призводить до зростання стріли прогину меблевого щита, зокрема для кутів нахилу волокон $61-90^\circ$ на 14,73%, для кутів нахилу волокон $31-60^\circ$ на 30,67 %, для кутів нахилу волокон $0-30^\circ$ на 29,55 %. А в діапазоні зміни ширини заготовок від 60 до 84 мм зростання стріли прогину після всихання меблевого щита, зокрема для кутів нахилу волокон $61-90^\circ$ становить 54,37%; для кутів нахилу волокон $31-60^\circ$ на 46,53%; для кутів нахилу волокон $0-30^\circ$ на 37,79%. За результатами проведених розрахунків робимо висновок про те, що вплив ширини заготовок на прогин меблевого щита не є таким яскраво вираженим – він практично відсутній для заготовок шириною від 36 до 60 мм (для різних кутів) і становить в середньому 15-30 % зростання, а на проміжку від 60 до 84 мм – середнє зростання становить в діапазоні 38-55 %.

4.2.4. Результати порівняльного аналізу показників формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різних конструкцій

В результаті проведення основного експерименту були отримані дані формостійкості із рейок однакової ширини 60 мм для різних товщин (табл. 4.9).

Як видно з гістограми рис. 4.13 найкращу формостійкість мають меблеві щити з напіврадіальними кутами при ширині 36 мм, де відхилення від площинності становить: 0,167 мм., при ширині 60 мм – мають також нижче від нормативного відхилення від площинності, яке становить 0,240 мм, а при ширині 84 мм – мають також нижче від нормативного відхилення від площинності, яке становить 0,449 мм.

Таблиця 4.5

Результати трьох вимірювань величин стріл прогину меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) для рейок однакової ширини

Конструкції МЩ для різної ширини	Розрахунок	Норма	% норми	Норма	% норми
МЩ, 36 мм (31-60)о	0,167	0,5	33	0,4	42
МЩ, 60 мм (31-60)о	0,240	0,5	48	0,4	60
МЩ, 84 мм (31-60)о	0,449	0,5	90	0,4	112

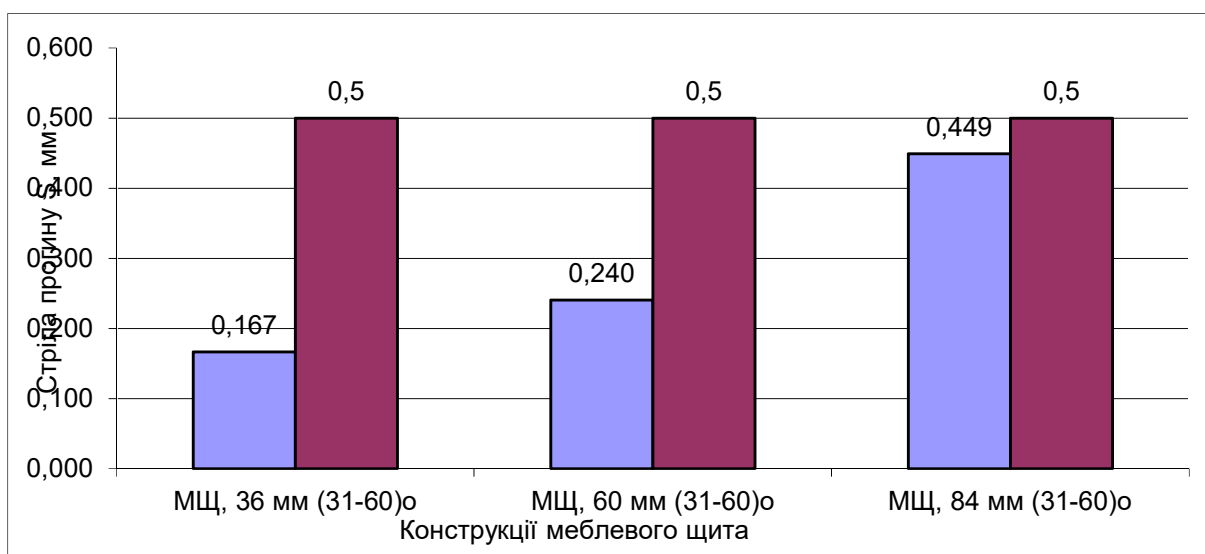


Рис. 4.13. Гістограма формостійкості $S_{рн}$ МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різних конструкцій

Зміна площинності $S_{рн}$ МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різних конструкцій після трьох разового вимірювання представлена у табл. 4.6.

Таблиця 4.6.

Результати трьох вимірювань величин стріл прогину $S_{рн}$ МЩ з різною шириною рейок

Конструкції МЩ різної ширини	1 вимір.	2 вимір.	3 вимір.	Норма	% зміни 1	% зміни 2
МЩ, 36 мм (31-60)о	0,167	0,177	0,182	0,5	5,9	2,7
МЩ, 60 мм (31-60)о	0,240	0,261	0,271	0,5	8,0	3,8
МЩ, 84 мм (31-60)о	0,449	0,494	0,516	0,5	9,0	4,3

Найбільшої зміни (9 %) в площинності зазнали МЩ із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з шириною рейки 84 мм після 2-го заміруа також після 3-го заміру – де показник показав зміну 4,3 %. Інші зміни мали діапазон 2,7-3,8 %, що в рамках похибки. Стріла прогину для експериментальних щитів була меншою, ніж 0,5 мм для ширини експериментальних плит 490 мм (рис. 4.14).

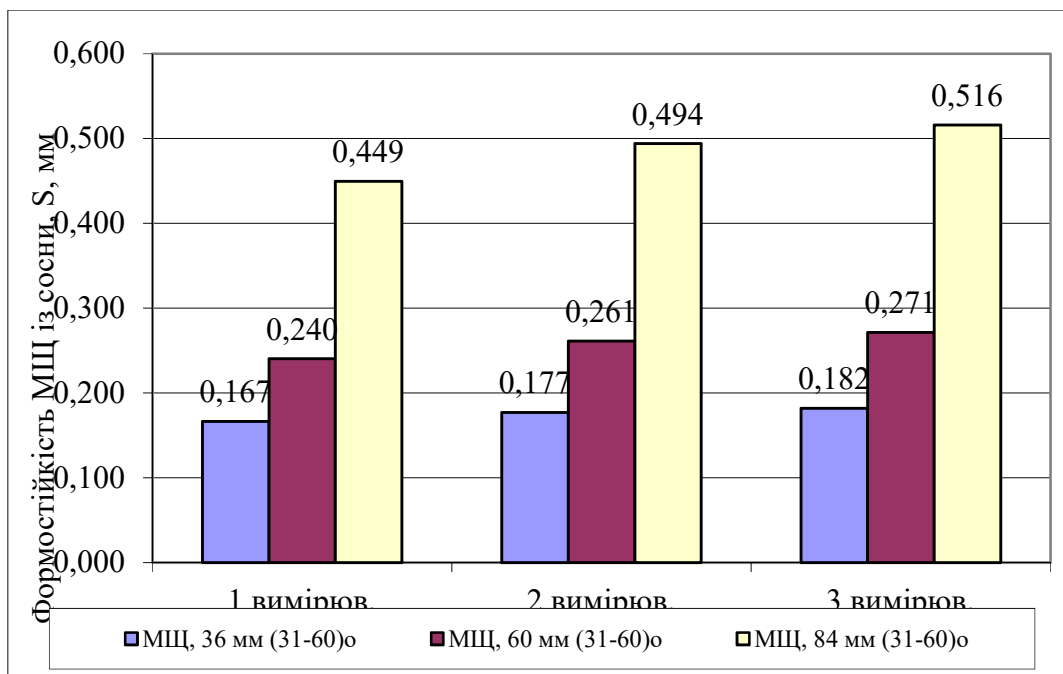


Рис. 4.14. Гістограма формостійкості $S_{рн}$ меблевих щитів із бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) для рейок різної ширини після трьох вимірювань

4.2.5. Оптимізація математичних моделей щодо впливу змінних факторів на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій

Оптимізацію отриманих математичних моделей проведено з використанням компютера. У стандартній програмі "Excel" за допомогою процедури (пошук вирішення) визначили оптимальні значення ширини заготовки і кути нахилу річних шарів. При цьому обмежились величиною прогину меблевих щитів $f_{\max} \leq 0,5$ мм згідно з вимогами стандартів ДСТУ EN 13353:2009.

Виконано оптимізацію товщини та ширини рейок і завдяки градієнтного методу визначено мінімальне значення відхилення $S_{\text{рн, min}} = 0,111$ мм, зафіксувавши розмірні параметри рейок МЩ комбінованого укладання: величина кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ $A_{\text{н}}(x_1) = \text{радіальний } 60\text{-}90$; ширина ламелі (рейки) з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $B_{\text{шир}}(x_2) = 36$ мм (рис. 4.15).

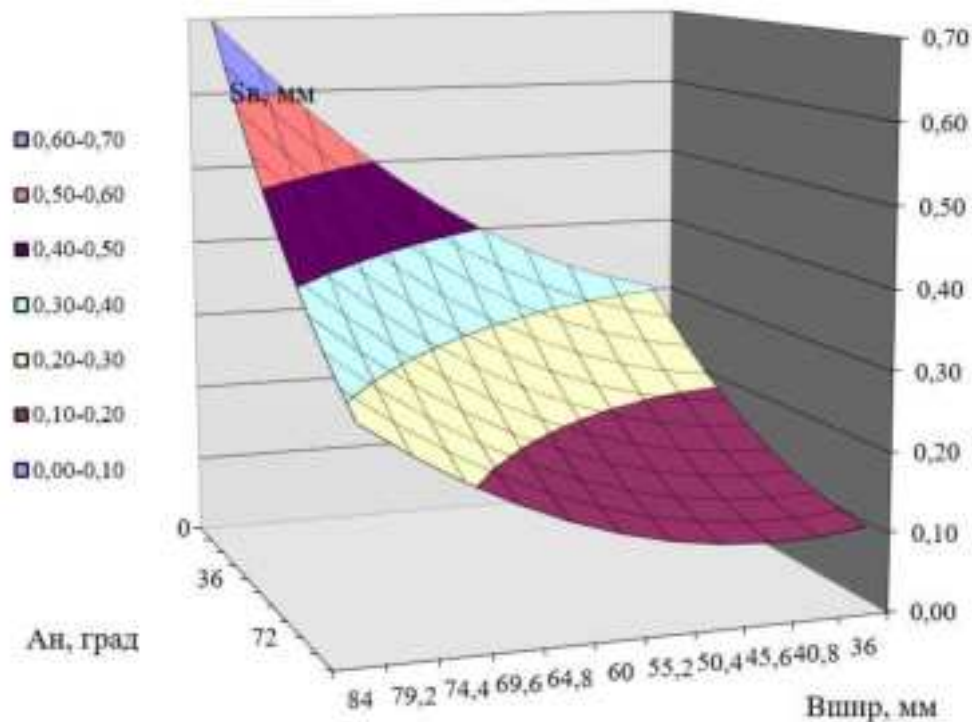


Рис. 4.15. Залежність середнього відхилення $S_{\text{рн}}$ (від площинності) меблевого щита від товщини та ширини рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)

Отримані результати наведено у табл. 4.7

Таблиця 4.7.

Результати оптимізації математичних моделей

Товщина, мм	Кут нахилу, град	Ширина, мм	Співвідношення, Т : Ш	Допуск на прогин, мм
24	> 0	< 67,2	< 2,8	0,5
24	> 4,5	< 69,6	< 2,9	0,5
24	> 9	< 72	< 3	0,5
24	> 13,5	< 74,4	< 3,1	0,5
24	> 18	< 76,8	< 3,2	0,5
24	> 25	< 79,2	< 3,3	0,5
24	> 31,5	< 81,6	< 3,4	0,5
24	> 36	< 84	< 3,5	0,5

Результати покрокової оптимізації з дотриманням обмеження наступні:

- **Мінімальний кут** нахилу річних шарів рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $A_n(x_1) = 36^\circ$ при ширині рейки з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $B_{шир}(x_2) = 84$ мм.

- Отримаємо співвідношення: **1 : 3,5**.

- **Максимальна ширина ламелі (рейки)** з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $B_{шир}(x_2) = 67,2$ мм при товщині 24 мм для тангентальних ламелей.

- Отримаємо співвідношення: **1 : 2,8**.

Отримання співвідношення сторін перерізів ламелей, тобто ширини до товщини лягли в основу формування практичних рекомендацій для використання у виробничих умовах.

4.2.6. Встановлення закономірностей впливу змінних факторів на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій

З'ясовано, що товщина, ширина та кути нахилу річних кілець до пластів, що виражаються через співвідношення товщини до ширини та через укладання

тангентальних, напіврадіальних та радіальних ламелей по різному впливають на величину стріли прогину меблевих щитів із деревини бука.

Закономірності впливу товщини, ширини та кутів нахилу річних кілець до пластів на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій:

1. За результатами дослідження впливу товщини та ширини рейок в конструкціях меблевих щитів:

1.1. Встановлено, що товщина та ширина рейок в конструкції меблевих щитів впливають по різному: товщина – оберненопропорційно, тобто забезпечує формостійкість конструкції, ширина – прямопропорційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з почерговим укладанням впливає другий фактор $V_{\text{шир}} (x_2)$ – ширина рейок. Вплив першого фактору $V_{\text{тов}} (x_1)$ на формостійкість у порівнянні з другим $V_{\text{шир}} (x_2)$ є в 1,4 рази меншим.

1.2. Визначено, що збільшення товщини рейок з бука звичайного МЩ призводить до суттєвого зменшення стріли прогину S_6 , мм. Встановлено, що збільшення товщини заготовки від 16 до 24 мм призводить до зменшення стріли прогину меблевого щита, зокрема для ширини 36 мм на 74,52 %, для ширини 60 мм на 65,06 %, для ширини 84 мм на 51,38 %. А в діапазоні зміни товщини заготовок від 24 до 32 мм зростання стріли прогину меблевого щита, зокрема для ширини 36 мм становить 26,68 %; для ширини 60 мм-66,26 %; для ширини 84 мм-60,45 %. За результатами проведених розрахунків робимо висновок про те, що вплив товщин заготовок на прогин меблевого щита проявляється у такій динаміці: для заготовок товщиною від 16 до 24 мм (для різних ширин) становить зростання в середньому на 64 %, а на проміжку від 24 до 32 мм – середнє зростання становить 51 %.

1.3. Встановлено, що збільшення ширини рейок з бука звичайного МЩ призводить до суттєвого збільшення стріли прогину S_6 , мм. Визначено, що збільшення ширини заготовки від 36 до 60 мм призводить до зростання *стріли*

прогину меблевого щита, зокрема для товщини 16 мм на 38,12 %, для товщини 24 мм на 52,85 %, для товщини 32 мм на 41,09 %. А в діапазоні зміни ширини заготовок від 60 до 84 мм зростання *стріли прогину* меблевого щита, зокрема для товщини 16 мм становить 47,89 %; для товщини 24 мм-46,01 %; для товщини 32 мм-50,15%. За результатами проведених розрахунків робимо висновок про те, що вплив ширини заготовок на прогин меблевого щита проявляється у такій динаміці: для заготовок шириною від 36 до 60 мм (для різних кутів нахилу річних шарів) становить зростання в середньому на 44 %, а на проміжку від 60 до 84 мм – середнє зростання становить 48 %.

2. За результатами дослідження впливу кута нахилу річних шарів до пласті та ширина рейок в конструкціях меблевих щитів:

2.1. Визначено, що величина кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ та ширина рейок в конструкції меблевих щитів суттєво впливає на формостійкість конструкції. Обидва змінних фактори впливають по різному: збільшення кута – зменшує *стрілу прогину*, ширина – прямопропорційно, тобто збільшує *стрілу прогину* із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з почерговим укладанням впливає перший фактор $A_n(x_1)$ – величина кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ.

2.2. З'ясовано, що збільшення кута нахилу річних шарів в рейках з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $A_n(x_1)$ МЩ призводить до суттєвого зменшення *стріли прогину* $S_{рн}$, мм. Зменшення кута нахилу річних шарів від 90° до 45° суттєво впливає на *стрілу прогину* (50,68 %), а подальше зменшення кута нахилу від 45° до 0° характеризується більшою динамікою показника (83,57 %), меблевого щита, зокрема для ширини рейок 36 мм. Тобто, вплив кута нахилу річних шарів на прогин меблевого щита з масивної деревини характеризується різким збільшенням прогину за зменшення кута нахилу від 45° до 0° і дещо меншим збільшенням прогину для кута нахилу від 45° до 90°.

2.3. Встановлено, що збільшення ширини заготовки від 36 до 60 мм призводить до зростання *стріли прогину* меблевого щита, зокрема для кутів нахилу волокон 61-90° на 14,73 %, для кутів нахилу волокон 31-60° на 30,67 %, для кутів нахилу волокон 0-30° на 29,55 %. А в діапазоні зміни ширини заготовок від 60 до 84 мм зростання *стріли прогину* меблевого щита, зокрема для кутів нахилу волокон 61-90° становить 54,37 %; для кутів нахилу волокон 31-60°-46,53 %; для кутів нахилу волокон 0-30°-37,79 %. За результатами проведених розрахунків робимо висновок про те, що вплив ширини заготовок на прогин меблевого щита не є таким яскраво вираженим – він практично відсутній для заготовок шириною від 36 до 60 мм (для різних кутів нахилу річних шарів) і становить в середньому 15-30 % зростання, а на проміжку від 60 до 84 мм – середнє зростання становить в діапазоні 38-55 %.

Загальні практичні рекомендації щодо рекомендованих співвідношень перерізів рейок в конструкціях меблевих щитів подані у табл. 4.8.

Таблиця 4.8.

Рекомендовані пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі
(ширина : товщина)

Параметри впливу	Зміна + / -	Практичні рекомендації			
		Пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина)			
		Сосна		Бук	
Зростання кута нахилу річних кілець до пласті щита:	Покращення	1:2,6	1:4,0	1:3,1	1:3,9
тангентальний 0-30°		1:2,6		1:3,1	
напіврадіальний 31-60°		1:3,2		1:3,5	
радіальний 61-90°		1:4,0		1:3,9	
Збільшення к-сті з'єднань (моноліт / зрощення)	Покращення	1:2,5	1:3,5	1:3,0	1:3,8
Спосіб укладання (випадкове / ритмічне)	Покращення	1:2,0	1:4,0	1:2,0	1:3,5

4.3. Обґрунтування достовірності теоретичних розрахунків за розробленими математичними моделями з результатами експериментальних досліджень

4.3.1. Порівняльний аналіз величин стріл прогину до загальної площини МЩ за експериментом та за моделлю відносно величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, та прийнятої ширини

За результатами одержання даних теоретичних та експериментальних досліджень було здійснено порівняльний аналіз контролюючих показників формостійкості.

А) Порівняльний аналіз величин стріл прогину (формостійкості МЩ) відносно величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ та пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина), зокрема перерізом 24×36 мм (K_{p1}), що конструкціях меблевих щитів, одержаних за математичною моделлю та експериментом наведено у табл. 4.9.

Таблиця 4.9.

Порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю залежно від кута нахилу річних кілець до пласті рейок перерізом 24×36 мм K_{p1} (співвідношення 1:1,5)

Величини за моделлю			Дані згідно експерименту		
K_{p1}			K_{p1}		
$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$	$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$
0,268	0,159	0,094	0,306	0,167	0,111

Відхилення значень, отриманих за виведеною моделлю від експериментальних даних для кутів нахилу річних кілець до пласті меблевого щита з перерізом рейок 24×36 мм склали: $K_{\alpha 30}$ (14,14 %), $K_{\alpha 60}$ (4,98 %), та $K_{\alpha 90}$ (17,60 %). (рис. 4.16, 4.17).

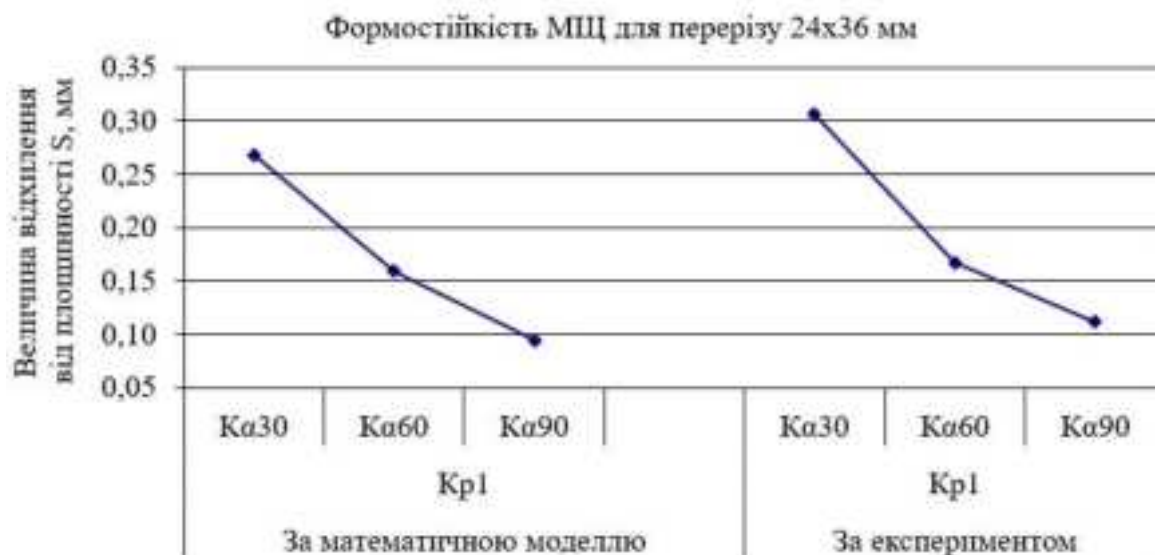


Рис. 4.16. Графічний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю залежно від кута нахилу річних кілець до пластів рейок перерізом 24×36 мм Кр₁ (співвідношення 1:1,5)

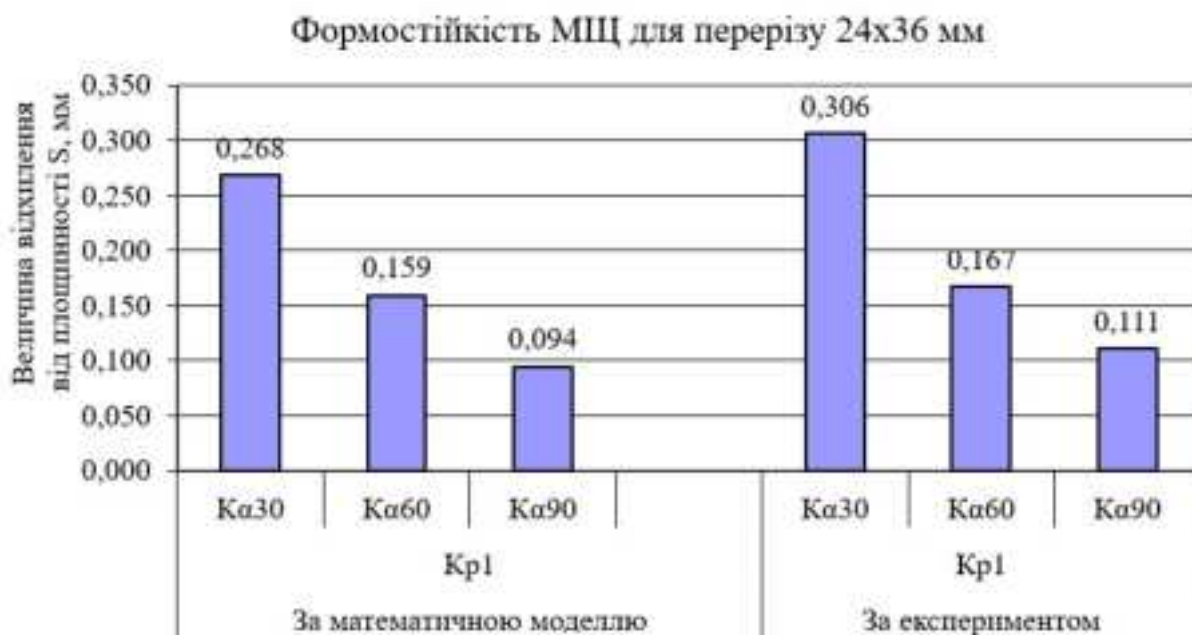


Рис. 4.17. Номограмний порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю залежно від кута нахилу річних кілець до пластів рейок перерізом 24×36 мм, Кр₁ (співвідношення 1:1,5)

Б) Порівняльний аналіз величин стріл прогину (формостійкості МЩ) відносно величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ та пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина), зокрема перерізом 24×60 мм (K_{p2}), що конструкціях меблевих щитів, одержаних за математичною моделлю та експериментом наведено у табл. 4.10.

Таблиця 4.10.

Порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю залежно від кута нахилу річних кілець до пласті рейок перерізом 24×60 мм, K_{p2} (співвідношення 1:2,5)

Величини за моделлю			Дані згідно експерименту		
K_{p2}			K_{p2}		
$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$	$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$
0,450	0,240	0,166	0,434	0,240	0,130

Відхилення значень, отриманих за виведеною моделлю від експериментальних даних для кутів нахилу річних кілець до пласті меблевого щита з перерізом рейок 24×60 мм склали: $K_{\alpha 30}$ (3,5 %), $K_{\alpha 60}$ (0 %), та $K_{\alpha 90}$ (19,68 %). (рис. 4.18, 4.19).

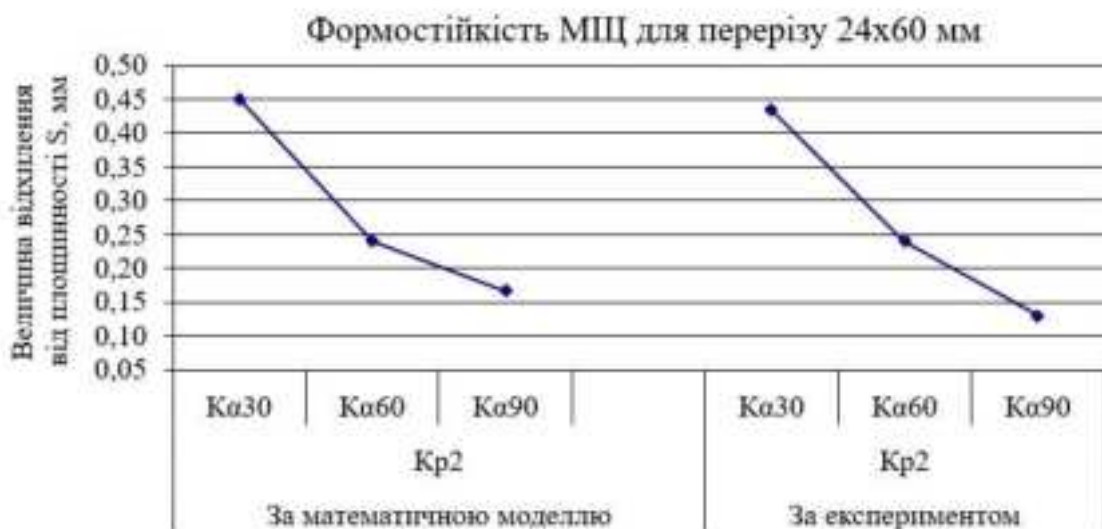


Рис. 4.18. Графічний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю залежно від кута нахилу річних кілець до пласті рейок перерізом 24×60 мм, K_{p2} (співвідношення 1:2,5)

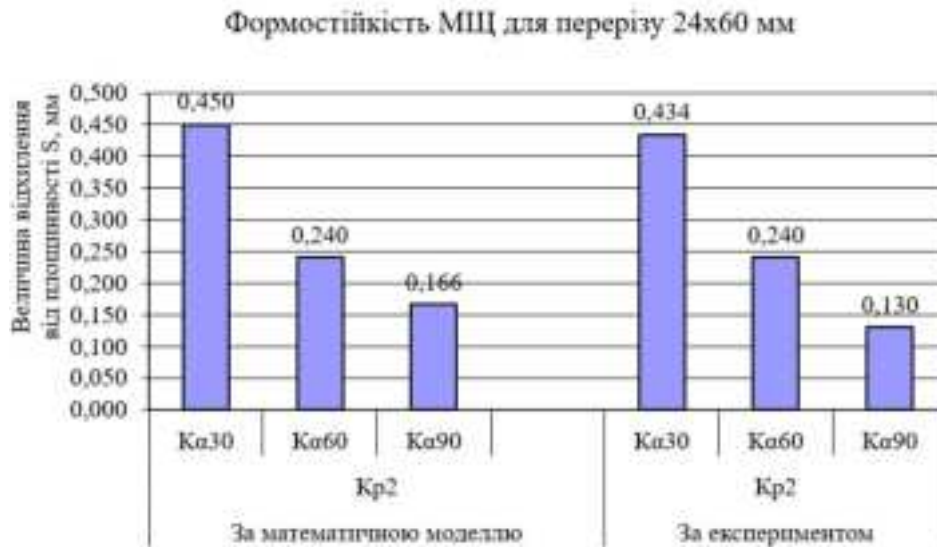


Рис. 4.19. Номограмний порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю залежно від кута нахилу річних кілець до пластів рейок перерізом 24×36 мм K_{p1} (співвідношення 1:1,5)

В) Порівняльний аналіз величин стріл прогину (формостійкості МЩ) відносно величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ та пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина), зокрема перерізом 24×84 мм (K_{p3}), що конструкціях меблевих щитів, одержаних за математичною моделлю та експериментом наведено у табл. 4.11.

Таблиця 4.11.

Порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю залежно від кута нахилу річних кілець до пластів рейок перерізом 24×84 мм K_{p3} (співвідношення 1:3,5)

Величини за моделлю			Дані згідно експерименту		
K_{p3}			K_{p3}		
$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$	$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$
0,754	0,447	0,265	0,698	0,434	0,306

Відхилення значень, отриманих за виведеною моделлю від експериментальних даних для кутів нахилу річних кілець до пластів меблевого щита з перерізом рейок 24×84 мм склали: $K_{\alpha 30}$ (7,38 %), $K_{\alpha 60}$ (2,94 %), та $K_{\alpha 90}$ (15,33 %). (рис. 4.20, 4.21).

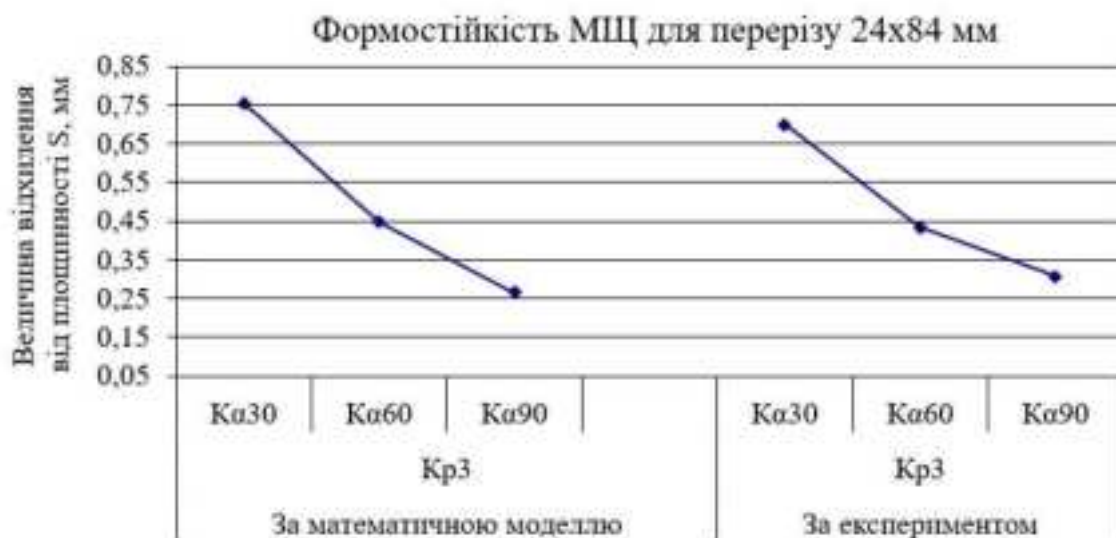


Рис. 4.20. Графічний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю залежно від кута нахилу річних кілець до пластів рейок перерізом 24×84 мм Кр₃ (співвідношення 1:3,5)

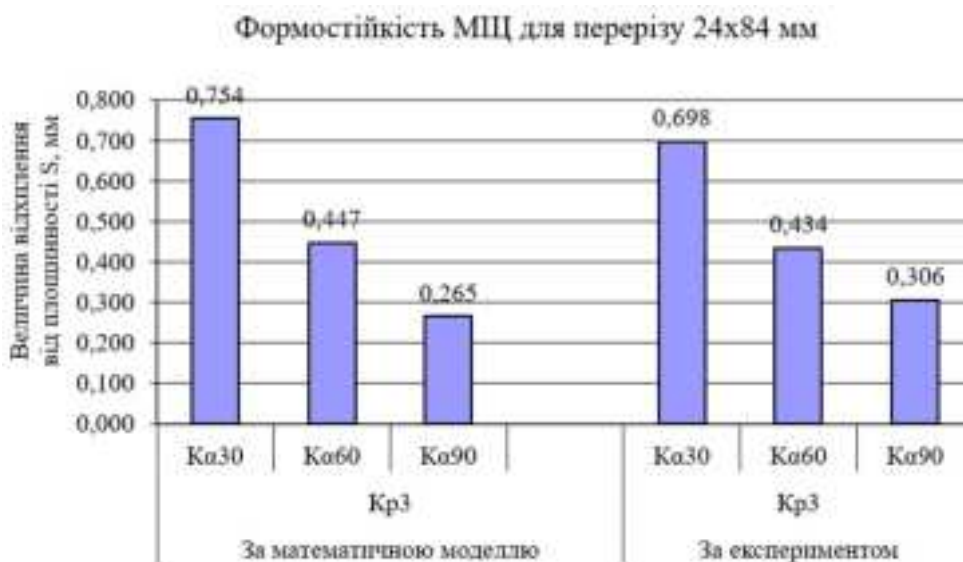


Рис. 4.21. Номограмний порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю залежно від кута нахилу річних кілець до пластів рейок перерізом 24×84 мм Кр₃ (співвідношення 1:3,5)

4.3.2. Порівняльний аналіз величин формостійкості, одержаних за математичною моделлю та експериментом стосовно монолітності ламелей

За результатами одержання даних теоретичних та експериментальних досліджень було здійснено порівняльний аналіз контролюючих показників формостійкості.

А). Порівняльний аналіз величин формостійкості залежно від кількості зубчастих з'єднань в ламелях, що конструкціях меблевих щитів, одержаних за математичною моделлю та експериментом для рейок перерізом 24×24 мм (K_{p1}) наведено у табл. 4.12.

Таблиця 4.12.

Порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю для рейок з різною кількістю зубчастих з'єднань перерізом 24×24 мм, K_{p1} (співвідношення 1:1)

Бук	Величини за моделлю			Дані згідно експерименту		
N	K_{p1}			K_{p1}		
шипів	$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$	$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$
0	0,466	0,224	0,108	0,427	0,201	0,116
1	0,458	0,220	0,106	0,416	0,198	0,115
2	0,450	0,217	0,104	0,408	0,196	0,114
3	0,443	0,213	0,103	0,402	0,193	0,113
4	0,435	0,209	0,101	0,399	0,192	0,113

Відхилення значень, отриманих за виведеною моделлю від експериментальних даних для кутів нахилу річних кілець до пласті меблевого щита з перерізом ламелей 24×24 мм склали: $K_{\alpha 30}$ (8,34-9,43 %), $K_{\alpha 60}$ (9,77-10,40 %), та $K_{\alpha 90}$ (7,36-11,77 %). (рис. 4.22, 4.23).

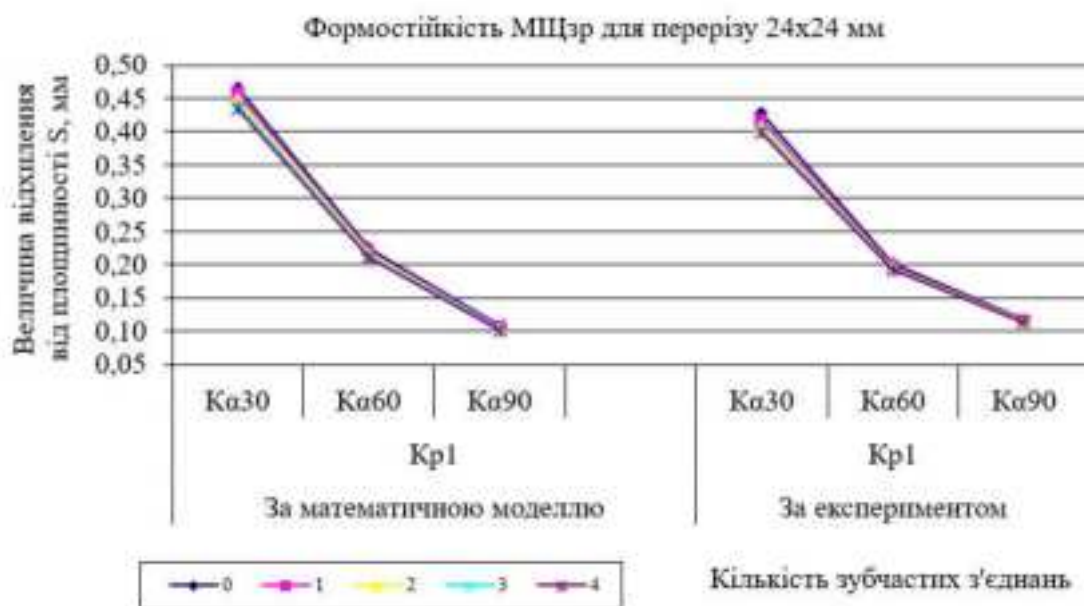


Рис. 4.22. Графічний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю для рейок з різною кількістю зубчастих з'єднань перерізом 24×24 мм К_{р1} (співвідношення 1:1)

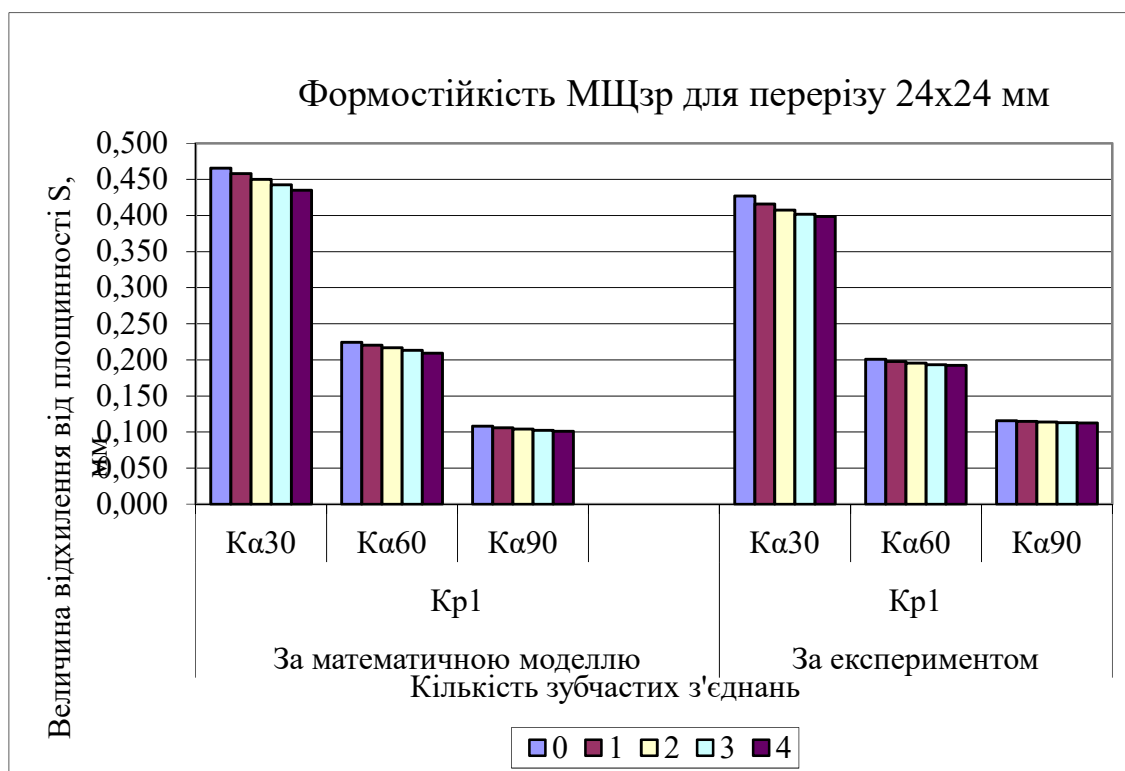


Рис. 4.23. Номограмний порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю для рейок з різною кількістю зубчастих з'єднань перерізом 24×24 мм К_{р1} (співвідношення 1:1)

Б). Порівняльний аналіз величин формостійкості залежно від кількості зубчастих з'єднань в ламелях, що конструкціях меблевих щитів, одержаних за математичною моделлю та експериментом для рейок перерізом 24×36 мм (K_{p2}) наведено у табл. 4.13.

Таблиця 4.13.

Порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю для рейок з різною кількість зубчастих з'єднань перерізом 24×36 мм K_{p2} (співвідношення 1:1,5)

Бук N шипів	Величини за моделлю			Дані згідно експерименту		
	K_{p2}			K_{p2}		
	K_{a30}	K_{a60}	K_{a90}	K_{a30}	K_{a60}	K_{a90}
0	0,730	0,352	0,169	0,778	0,312	0,162
1	0,718	0,346	0,166	0,758	0,307	0,160
2	0,706	0,340	0,164	0,743	0,304	0,159
3	0,694	0,334	0,161	0,732	0,301	0,158
4	0,682	0,328	0,158	0,727	0,299	0,158

Відхилення значень, отриманих за виведеною моделлю від експериментальних даних для кутів нахилу річних кілець до пласти меблевого щита з перерізом ламелей 24×36 мм склали: K_{a30} (5,28-6,55 %), K_{a60} (8,86-11,11 %), та K_{a90} (0,20-4,13 %). (рис. 4.24).



Рис. 4.24. Графічний лінійний порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю для рейок з різною кількість зубчастих з'єднань перерізом 24×36 мм K_{p2} (співвідношення 1:1,5)

В). Порівняльний аналіз величин формостійкості залежно від кількості зубчастих з'єднань в ламелях, що конструкціях меблевих щитів, одержаних за математичною моделлю та експериментом для рейок перерізом 24×60 мм (K_{p3}) наведено у табл. 4.14.

Таблиця 4.14.

Порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю для рейок з різною кількістю зубчастих з'єднань перерізом 24× 60 мм K_{p3} (співвідношення 1:2,5)

Бук N	Величини за моделлю			Дані згідно експерименту		
	K_{p3}			K_{p3}		
шипів	K_{a30}	K_{a60}	K_{a90}	K_{a30}	K_{a60}	K_{a90}
0	1,145	0,551	0,265	1,220	0,482	0,298
1	1,126	0,542	0,261	1,189	0,474	0,295
2	1,107	0,533	0,256	1,165	0,469	0,293
3	1,088	0,524	0,252	1,148	0,464	0,291
4	1,070	0,515	0,248	1,139	0,462	0,290

Відхилення значень, отриманих за виведеною моделлю від експериментальних даних для кутів нахилу річних кілець до пласті меблевого щита з перерізом ламелей 24×60 мм склали: K_{a30} (5,24-6,51 %), K_{a60} (10,30-12,54 %), та K_{a90} (12,29-16,89 %). (рис. 4.25).



Рис. 4.25. Графічний лінійний порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю для рейок з різною кількістю зубчастих з'єднань перерізом 24×60 мм K_{p3} (співвідношення 1:2,5)

Г). Порівняльний аналіз величин формостійкості залежно від кількості зубчастих з'єднань в ламелях, що конструкціях меблевих щитів, одержаних за математичною моделлю та експериментом для рейок перерізом 24×84 мм (K_{p4}) наведено у табл. 4.15.

Таблиця 4.15.

Порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю для рейок з різною кількість зубчастих з'єднань перерізом 24×84 мм K_{p4} (співвідношення 1:2,5)

Бук N	Величини за моделлю			Дані згідно експерименту		
	K_{p4}			K_{p4}		
шипів	$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$	$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$
0	1,795	0,864	0,416	1,478	0,701	0,417
1	1,765	0,850	0,409	1,441	0,690	0,413
2	1,735	0,835	0,402	1,412	0,683	0,409
3	1,706	0,821	0,395	1,391	0,676	0,407
4	1,677	0,807	0,389	1,380	0,672	0,406

Відхилення значень, отриманих за виведеною моделлю від експериментальних даних для кутів нахилу річних кілець до пласті меблевого щита з перерізом ламелей 24×84 мм склали: $K_{\alpha 30}$ (17,66-18,64 %), $K_{\alpha 60}$ (16,77-18,84 %), та $K_{\alpha 90}$ (0,25-4,36 %). (рис. 4.26).

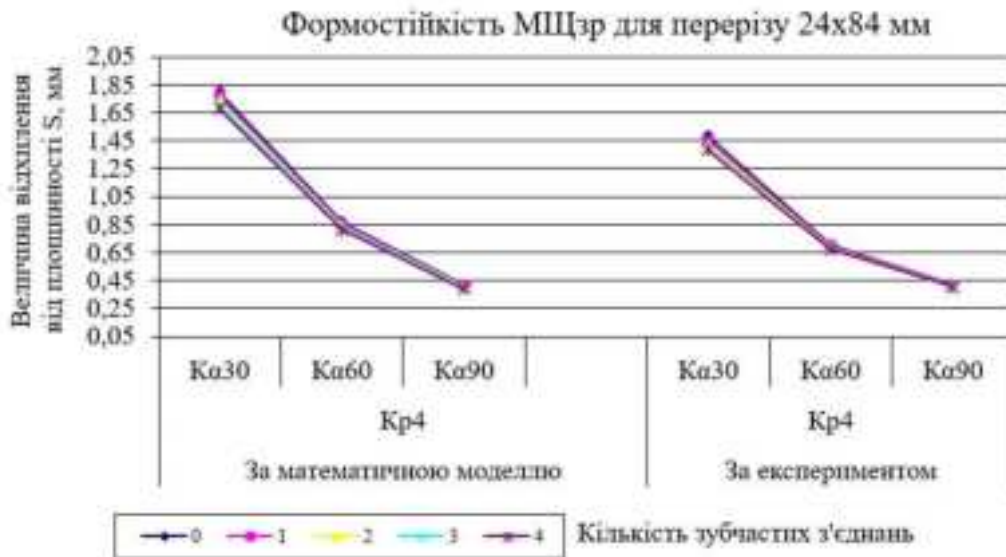


Рис. 4.26. Графічний лінійний порівняльний аналіз величин стріл прогину – відхилення від площинності за результатами експерименту та розрахунку за моделлю для рейок з різною кількість зубчастих з'єднань перерізом 24×84 мм K_{p4} (співвідношення 1:3,5)

4.3.3. Порівняльний аналіз величин формостійкості, одержаних за математичною моделлю та експериментом стосовно схем укладання

А). Порівняльний аналіз величин формостійкості залежно від способів укладання рейок в конструкцію меблевих щитів, одержаних за математичною моделлю та експериментом для рейок перерізом 24×24 мм (K_{p1}) у табл. 4.16.

Таблиця 4.16.

Аналіз величин стріл прогину до загальної площини МЩ за експериментом та за моделлю для ламелей перерізом 24×24 мм K_{p1} для різних схем укладання

Бук Укладання	Величини за моделлю			Дані згідно експерименту		
	K_{p1}			K_{p1}		
	K_{a30}	K_{a60}	K_{a90}	K_{a30}	K_{a60}	K_{a90}
90-90-90	0,290	0,095	0,031	0,358	0,196	0,047
45-90-45	0,388	0,128	0,042	0,398	0,213	0,051
0-90-180	0,521	0,171	0,056	0,487	0,250	0,058
0-45-180	0,698	0,230	0,076	0,753	0,349	0,078
180-0-180	0,936	0,308	0,101	1,129	0,453	0,097

Відхилення значень, отриманих за виведеною моделлю від експериментальних даних для кутів нахилу річних кілець до пласті меблевого щита з перерізом ламелей 24×24 мм склали: K_{a30} (2,37-19,17 %), K_{a60} (12,14-19,70 %), та K_{a90} (9,85-19,20 %). (рис. 4.27, 4.28).

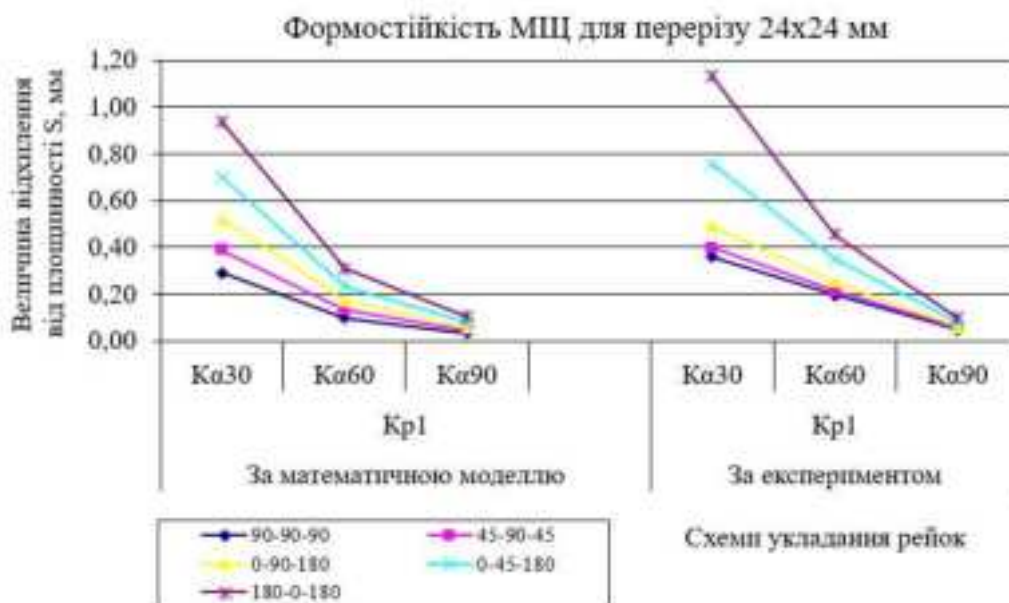


Рис. 4.27. Графічний лінійний аналіз величин стріл прогину до загальної площини МЩ за експериментом та за моделлю для ламелей перерізом 24×24 мм K_{p1} (співвідношення 1:1) для різних схем укладання

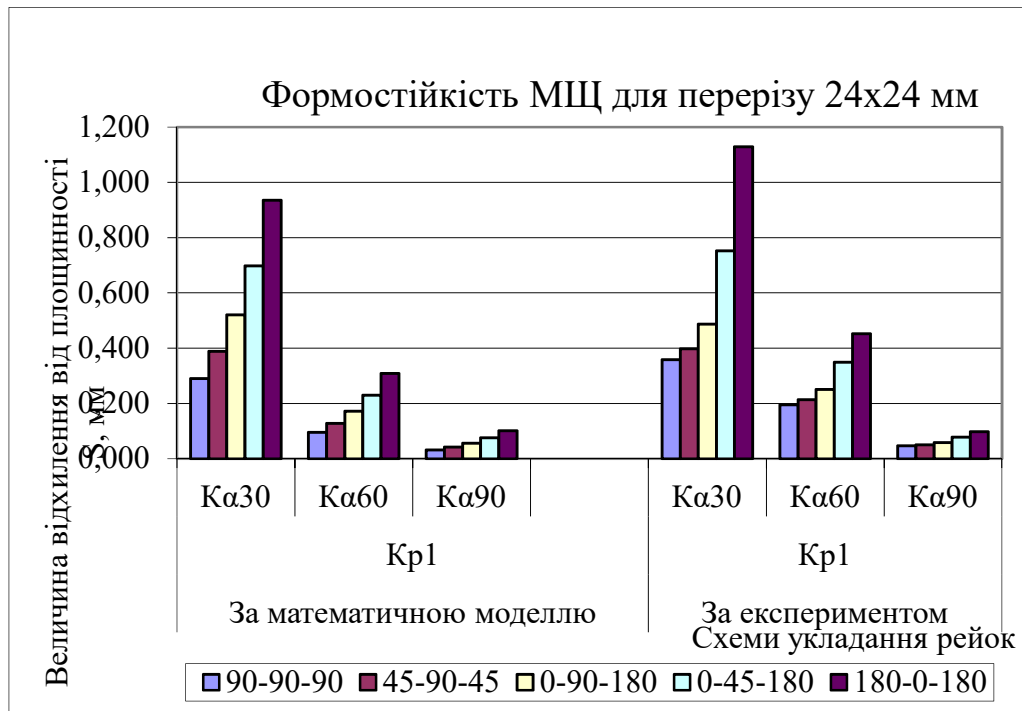


Рис. 4.28. Номограмний аналіз величин стріл прогину до загальної площини МЩ за експериментом та за моделлю для ламелей перерізом 24×24 мм K_{p1} (співвідношення 1:1) для різних схем укладання

Б). Порівняльний аналіз величин формостійкості залежно від способів укладання рейок в конструкцію меблевих щитів, одержаних за математичною моделлю та експериментом для рейок перерізом 24×36 мм (K_{p2}) у табл. 4.17.

Таблиця 4.17.

Аналіз величин стріл прогину до загальної площини МЩ за експериментом та за моделлю для ламелей перерізом 24×36 мм K_{p2} для різних схем укладання

Бук Укладання	Величини за моделлю			Дані згідно експерименту		
	K_{p2}			K_{p2}		
	$K_{\alpha30}$	$K_{\alpha60}$	$K_{\alpha90}$	$K_{\alpha30}$	$K_{\alpha60}$	$K_{\alpha90}$
90-90-90	0,744	0,245	0,081	0,960	0,434	0,050
45-90-45	0,998	0,328	0,108	1,065	0,474	0,054
0-90-180	1,338	0,440	0,145	1,305	0,557	0,062
0-45-180	1,793	0,590	0,194	2,016	0,775	0,083
180-0-180	2,404	0,791	0,261	3,024	1,006	0,105

Відхилення значень, отриманих за виведеною моделлю від експериментальних даних для кутів нахилу річних кілець до пласті меблевого щита з перерізом ламелей 24×36 мм склали: $K_{\alpha30}$ (3,39-14,49 %), $K_{\alpha60}$ (6,77-19,89 %), та $K_{\alpha90}$ (18,92-29,93 %). (рис. 4.29).

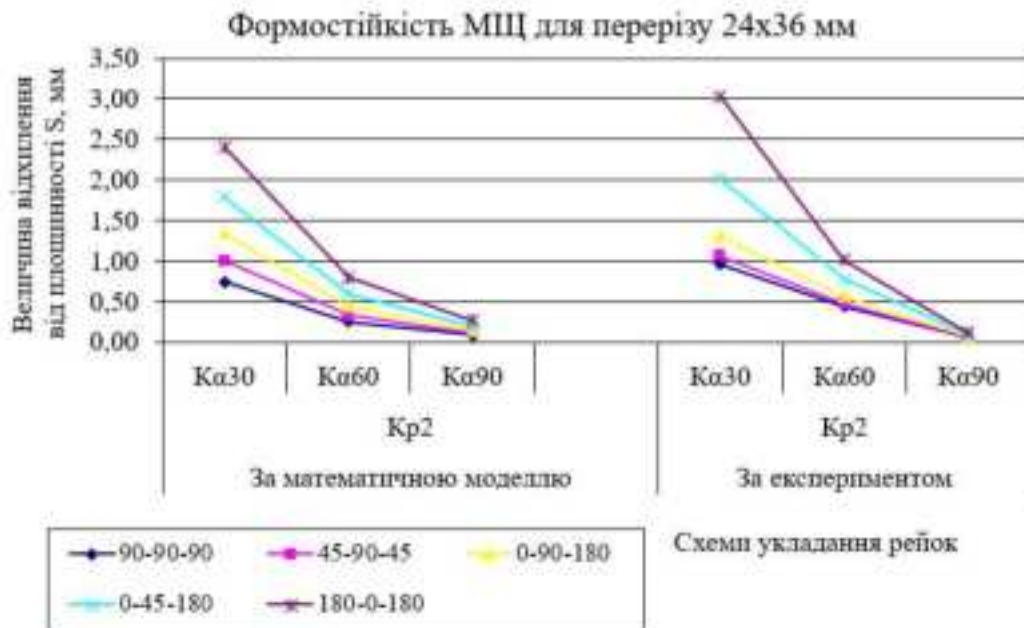


Рис. 4.29. Графічний лінійний аналіз величин стріл прогину до загальної площини МЩ за експериментом та за моделлю для ламелей перерізом 24×36 мм K_{p2} (співвідношення 1:1,5) для різних схем укладання

Порівняльний аналіз величин формостійкості залежно від способів укладання рейок в конструкцію меблевих щитів, одержаних за математичною моделлю та експериментом для рейок перерізом 24×60 мм (K_{p3}) наведено у табл. 4.18.

Таблиця 4.18.

Аналіз величин стріл прогину до загальної площини МЩ за експериментом та за моделлю для ламелей перерізом 24×36 мм K_{p3} для різних схем укладання

Бук	Величини за моделлю			Дані згідно експерименту		
	K_{p3}			K_{p3}		
Укладання	$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$	$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$
90-90-90	1,911	0,629	0,207	1,242	0,536	0,206
45-90-45	2,563	0,844	0,278	1,378	0,585	0,223
0-90-180	3,436	1,131	0,372	1,689	0,686	0,255
0-45-180	4,606	1,516	0,499	2,608	0,955	0,342
180-0-180	6,176	2,033	0,669	3,911	1,240	0,429

Відхилення значень, отриманих за виведеною моделлю від експериментальних даних для кутів нахилу річних кілець до пласті меблевого щита з перерізом ламелей 24×60 мм склали: $K_{\alpha 30}$ (17,51-25,42 %), $K_{\alpha 60}$ (7,43-19,65 %), та $K_{\alpha 90}$ (0,40-19,94 %). (рис. 4.30).

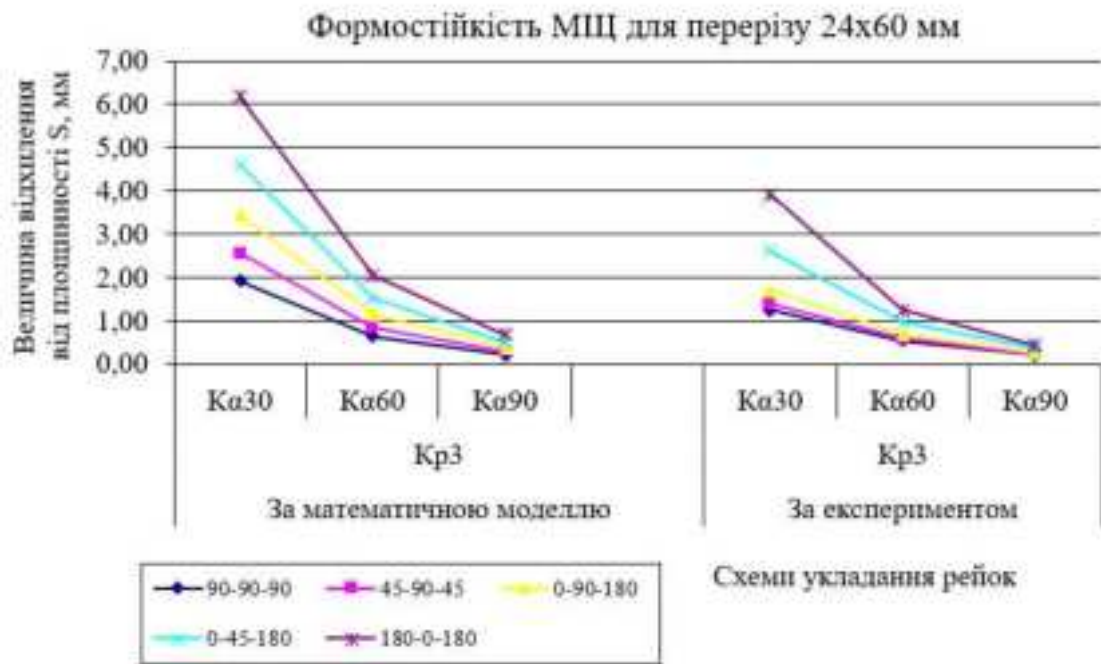


Рис. 4.30. Графічний лінійний аналіз величин стріл прогину до загальної площини МЩ за експериментом та за моделлю для ламелей перерізом 24×60 мм K_{p3} (співвідношення 1:2,5) для різних схем укладання

Порівняльний аналіз величин формостійкості залежно від способів укладання рейок в конструкцію меблевих щитів, одержаних за математичною моделлю та експериментом для рейок перерізом 24×84 мм (K_{p4}) наведено у табл. 4.19.

Таблиця 4.19.

Аналіз величин стріл прогину до загальної площини МЩ за експериментом та за моделлю для ламелей перерізом 24×84 мм K_{p4} для різних схем укладання

Бук	Величини за моделлю			Дані згідно експерименту		
	K_{p4}			K_{p4}		
Укладання	$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$	$K_{\alpha 30}$	$K_{\alpha 60}$	$K_{\alpha 90}$
90-90-90	4,910	1,616	0,532	1,548	0,928	0,678
45-90-45	6,583	2,167	0,713	1,719	1,013	0,735
0-90-180	8,826	2,905	0,956	2,106	1,189	0,840
0-45-180	11,833	3,895	1,282	3,251	1,654	1,128
180-0-180	15,864	5,222	1,719	4,877	2,149	1,414

Відхилення значень, отриманих за виведеною моделлю від експериментальних даних для кутів нахилу річних кілець до пласті меблевого щита з перерізом ламелей 24×84 мм склали: $K_{\alpha 30}$ (45,64-50,76 %), $K_{\alpha 60}$ (28,38-39,23 %), та $K_{\alpha 90}$ (2,00-18,24 %). (рис. 4.31).

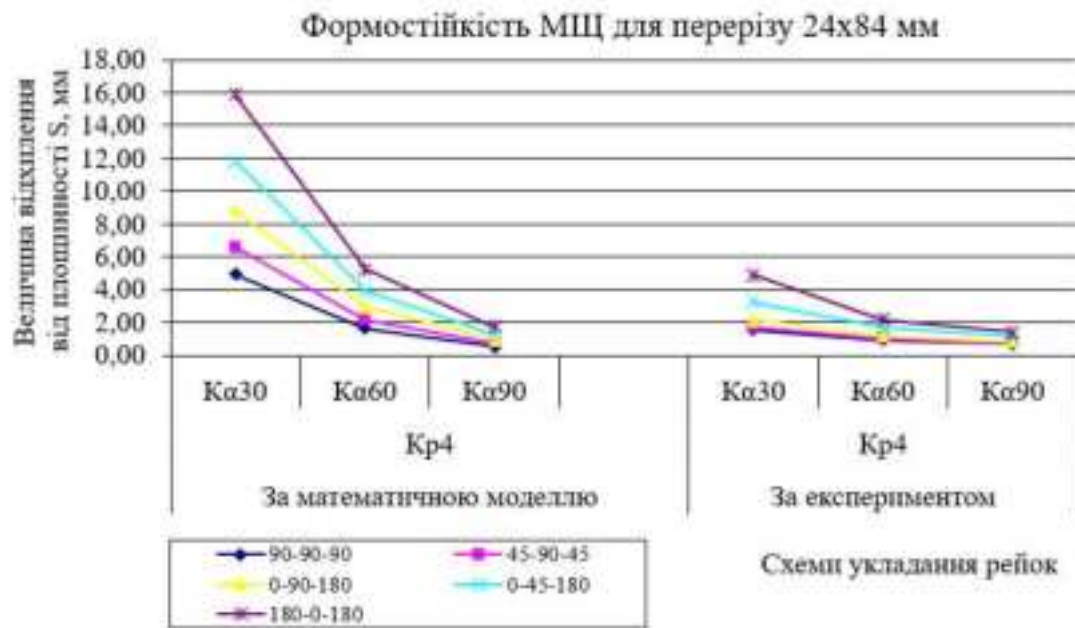


Рис. 4.31. Графічний лінійний аналіз величин стріл прогину до загальної площини МЩ за експериментом та за моделлю для ламелей перерізом 24×84 мм K_{p4} (співвідношення 1:3,5) для різних схем укладання

4.4. Висновки до експериментального розділу

1. Встановлено закономірності впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів. Експериментально отримано три регресійні залежності, що охоплюють вплив на стрілу прогину меблевого щита поперечних розмірів рейок, кута нахилу річних кілець до пластів, монолітність ламелей та спосіб укладання.

2. Експериментально визначено стріли прогину для меблевих щитів із деревини **сосни звичайної (*Pinus sylvestris*)** та побудовано адекватну регресійну модель залежно від почергового укладання радіальних ($B_{рад}$) та тангентальних ($B_{тан}$) рейок ширинами 20, 50 та 80 мм при товщині 20 мм. Встановлено, що ширина рейок в конструкції меблевих щитів суттєво впливає на формостійкість конструкції. Обидва змінних фактори впливають прямопропорційно. Найбільше на **стрілу прогину S_c** меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) з

почерговим укладанням за кутом нахилу річних шарів радіальних (кут нахилу річних кілець у перерізі бездефектних відрізків – рейок до площини щита 61-90°) та тангентальних (кут нахилу річних кілець у перерізі бездефектних відрізків – рейок до площини щита 1-30°) впливає другий фактор $V_{\text{тан}}(x_2)$ – ширина тангентальних рейок. Вплив другого фактору $V_{\text{тан}}(x_2)$ на формостійкість у порівнянні з першим (радіал) $V_{\text{рад}}(x_1)$ є в 1,56 рази більшим. Виявлено, що збільшення ширини від 20 до 80 мм для радіальних рейок призводить зростання стріли прогину на 94,73-122,91 %, а для тангентальних – стріла прогину зростає на 203,45-288,51 %.

3. Експериментально визначено стріли прогину для меблевих щитів із деревини **бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)** різного поперечного перерізу, зокрема товщиною ($V_{\text{тов}} = 16, 24, 32$ мм) та шириною ($V_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм), що склеювались крайками на гладку фугу та формували різні конструкції клеєних щитів. Результати цього дослідження дали змогу отримати регресійну модель, що описує залежності показника **стріли прогину S_6** від впливу ширин та товщин рейок, тобто поперечного перерізу для встановлення раціональних співвідношень, що забезпечувало б значення стріли прогину з межах норми. Встановлено, що обидва змінних фактори впливають, але по різному: товщина – оберненопропорційно, тобто забезпечує формостійкість конструкції, ширина – прямопропорційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з почерговим укладанням впливає другий фактор $V_{\text{шир}}(x_2)$ – ширина рейок. Вплив першого фактору $V_{\text{тов}}(x_1)$ на формостійкість у порівнянні з другим $V_{\text{шир}}(x_2)$ є в 1,7 рази меншим. Виявлено, що збільшення ширини від 36 до 84 мм призводить зростання стріли прогину на 210,16-292,85 % для різних товщин, а збільшення товщини від 16 до 32 мм для різних ширин призводить зменшення стріли прогину на 121,07-172,73 %:

Встановлено, що збільшення товщини заготовки від 16 до 24 мм призводить до зменшення стріли прогину меблевого щита, зокрема для ширини

36 мм на 74,52 %, для ширини 60 мм на 65,06 %, для ширини 51,38 мм на 51,38 %. А в діапазоні зміни товщини заготовок від 24 до 32 мм зростання стріли прогину меблевого щита, зокрема для ширини 36 мм становить 26,68 %; для ширини 60 мм на 66,26 %; для ширини 84 мм на 60,45 %. За результатами проведених розрахунків робимо висновок про те, що вплив товщин заготовок на прогин меблевого щита проявляється у такій динаміці: для заготовок товщиною від 16 до 24 мм (для різних ширин) і становить зростання в середньому на 64 %, а на проміжку від 24 до 32 мм – середнє зростання становить 51 %.

Встановлено, що збільшення ширини рейок з бука звичайного МЩ призводить до суттєвого збільшення стріли прогину S_6 , мм. Визначено, що збільшення ширини заготовки від 36 до 60 мм призводить до зростання *стріли прогину* меблевого щита, зокрема для товщини 16 мм на 38,12%, для товщини 24 мм на 52,85 %, для товщини 32 мм на 41,09 %. А в діапазоні зміни ширини заготовок від 60 до 84 мм зростання *стріли прогину* меблевого щита, зокрема для товщини 16 мм становить 47,89 %; для товщини 24 мм на 46,01 %; для товщини 32 мм на 50,15 %. За результатами проведених розрахунків робимо висновок про те, що вплив ширини заготовок на прогин меблевого щита проявляється у такій динаміці: для заготовок шириною від 36 до 60 мм (для різних кутів нахилу річних шарів) і становить зростання в середньому на 44 %, а на проміжку від 60 до 84 мм – середнє зростання становить 48 %.

4. Отримано регресійну залежність для прогнозування формостійкості меблевих щитів, в яких рейки із масиву бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) різного поперечного перерізу, зокрема товщиною 24 мм, шириною ($B_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм) та кутом нахилу річних шарів, A_n : тангентальний $0-30^\circ$; напіврадіальний $31-60^\circ$; радіальний $61-90^\circ$. Результати цього дослідження дали змогу отримати рівняння регресії для визначення стріли прогину меблевих щитів S_{pn} , залежно від змінних чинників – кута нахилу річних шарів (x_1, A_n) та ширини заготовок ($X_2, B_{\text{шир}}$) та. Обидва змінних фактори впливають по різному: збільшення кута – зменшує стрілу прогину, ширина – прямопропорційно, тобто

збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з почерговим укладанням впливає перший фактор $A_n(x_1)$ – величина кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ. Встановлено, що вплив другого фактору $B_{шир}(x_2)$ на $S_{рн}$ у порівнянні з першим $A_n(x_1)$ є в 2,4 рази меншим. Виявлено, що збільшення ширини від 36 до 84 мм призводить збільшення величини стріли прогину на 128,17-169,75 % для різних кутів, а збільшення кутів нахилу від 0 до 90° призводить також зменшення на 145,57-234,81 % для різних ширин:

З'ясовано, що збільшення кута нахилу річних шарів в рейках з бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) $A_n(x_1)$ МЩ призводить до суттєвого зменшення *стріли прогину* $S_{рн}$, мм. Зменшення кута нахилу річних шарів від 90° до 45° суттєво впливає на *стрілу прогину* (50,68 %), а подальше зменшення кута нахилу від 45° до 0° характеризується більшою динамікою показника (83,57 %), меблевого щита, зокрема для ширини рейок 36 мм. Тобто, вплив кута нахилу річних шарів на прогин меблевого щита з масивної деревини характеризується різким збільшенням прогину за зменшення кута нахилу від 45° до 0° і дещо меншим збільшенням прогину для кута нахилу від 45° до 90°.

Встановлено, що збільшення ширини заготовки від 36 до 60 мм призводить до зростання *стріли прогину* меблевого щита, зокрема для кутів нахилу волокон 61-90° на 14,73 %, для кутів нахилу волокон 31-60° на 30,67 %, для кутів нахилу волокон 0-30° на 29,55 %. А в діапазоні зміни ширини заготовок від 60 до 84 мм зростання *стріли прогину після* всихання меблевого щита, зокрема для кутів нахилу волокон 61-90° становить 54,37 %; для кутів нахилу волокон 31-60° на 46,53 %; для кутів нахилу волокон 0-30° на 37,79 %. За результатами проведених розрахунків робимо висновок про те, що вплив ширини заготовок на прогин меблевого щита не є таким яскраво вираженим – він практично відсутній для заготовок шириною від 36 до 60 мм (для різних кутів нахилу річних шарів) і становить в середньому 15-30 % зростання, а на проміжку від 60 до 84 мм – середнє зростання становить в діапазоні 38-55 %.

5. За результатами експериментальних досліджень з'ясовано, що збільшення ширини рейок від 1:1 до 1:3,5 (співвідношення товщина – ширина) зумовлює зростання стріли прогину відносно площини МЩ (на 128,17-169,75 %); збільшення величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ від 0 до 90° призводить до покращення формостійкості (на 145,57-234,81 %); збільшення кількості зубчастих з'єднань в ламелях, що конструкціях меблевих щитів призводить до зменшення відхилення від площинності (на 2,82-7,1 %); використання схеми укладання ламелей певних розмірів від найгіршої до оптимальної призводить до зменшення відхилення від площинності (на 108,6-215,0 %).

6. Встановлено, що відхилення значень, одержаних за математичними моделями при перевірці на формостійкість різних конструкцій меблевих щитів порівняно із експериментальними даними, не перевищували 19,68 % для характеристик рейок, 18,84 % для зрощених ламелей та 45,64 % для схем укладання.

Основні положення цього розділу наведено у публікаціях:

Статті у наукових фахових виданнях України

Подібка Т.І. Конструкції та технологічні аспекти меблевих щитів в нормативних документах // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2018, вип. 44. – С. 83-90. doi: <https://doi.org/10.36930/42184411> Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/7/6>

Подібка Т.І., Кійко О.А. Дослідження впливу поперечних розмірів букових рейок на формостійкість меблевих щитів // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2019, вип. 45. – С. 155-171. doi: <https://doi.org/10.36930/42194521> (Здобувачем особисто виконано експериментальні дослідження, їх аналіз та опис, висновки).

Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1/1>

Подібка Т.І. Дослідження формостійкості меблевих щитів із деревини сосни різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2020, вип. 46. – С. 108-120. doi: <https://doi.org/10.36930/42204613> Посилання на статтю у фаховому збірнику (опублікований до 12 березня 2020 року): <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/5/4>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та додатково відображають наукові результати дисертації

Подібка Т.І. Розроблення математичних моделей прогнозування формостійкості меблевих щитів з використанням методу скінченних елементів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2021, вип. 47. – С. 73-91. doi: <https://doi.org/10.36930/42214809> Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/9>

Подібка Т.І. Встановлення закономірностей впливу характеристик рейок на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 41-57. doi: <https://doi.org/10.36930/42214804> Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/10/9>

РОЗДІЛ 5

5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ РОЗМІРНО-ПРИДАТНИХ БЕЗДЕФЕКТНИХ ВІДРІЗКІВ ІЗ РІЗНОЇ СИРОВИНИ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОШТОРИСУ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ ЗАПРОПОНОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ

5.1. Математична модель розрахунку економічної ефективності процесу виготворення бездефектних відрізків для меблевих щитів різної конструкції

5.1.1. Розроблення математичної моделі економічної ефективності одержання бездефектних відрізків із різної сировини

Ефективність використання залишків деревини (ЗД) напряму залежить від їх можливості залучатись до конструкцій майбутніх виробів. І таким виробом є МЩ, де короткомірні якісні та бездефектні відрізки деревини шляхом зрощування формують ламелі – основу МЩ. [38, 133].

Побудова математичної моделі $EE_{\text{МЩ}}$ базується на визначенні часткових ефективностей, пов'язаних з виробництвом монолітних чи зрощених ламелей із деревини традиційної та залишкової.

Здійснено аналіз вартостей, затрачених на кожній операції в процесі залучення залишків деревини для створення розмірних ламелей для МЩ. Розрахункові величини вартості за 1 м³ МЩ:

1. Вартість на місці утворення;
2. Вартість за збирання або заготівлю;
3. Вартість за перевезення;
4. Вартість за розмірно-якісне сортування;
5. Вартість за специфікаційний розкрій;
6. Вартість за сушіння до відповідної вологості.

За критерій оптимальності взято величину ефекту $EE_{МЩ}$, який би гарантував необхідну якість та грошові надходження чи заощадження на етапі підготовки ламелей із ЗД до виробництва МЩ [129]:

$$\begin{cases} EE_{МЩ} = \sum_{i=1}^{n=6} e_i \rightarrow \max, \\ R_m \leq [R_m] \rightarrow \text{якісно підготовлена поверхня щита} \end{cases}, \quad (5.1)$$

де: e_i – часткова $EE_{МЩ}$ на окремих технологічних процесах, які передбачають зменшення/збільшення грошових витрат, що пов'язано із вхідними деревинними надходженнями, %; R_m , – розмірно-придатна та якісна заготовка із ЗД, мкм,

Формат математичної модель для визначення ефекту $EE_{МЩ}$ використання ЗД для отримання ламелей з метою склеювання у меблевий щит :

$$EE_{МЩ} = \left[6 - \frac{V_{ЗДу}}{V_{ПДу}} - \frac{V_{ЗДз}}{V_{ПДз}} - \frac{V_{ЗДп}}{V_{ПДп}} - \frac{V_{ЗДс}}{V_{ПДс}} - \frac{V_{ЗДр}}{V_{ПДр}} - \frac{V_{ЗДв}}{V_{ПДв}} \right] \cdot 100 \%, \quad (5.2)$$

де, вартість:

$V_{ЗДу}$ – ЗД на місцях утворення, грн;

$V_{ЗДз}$ – ЗД на місцях збирання, грн;

$V_{ЗДп}$ – ЗД за логістику до місць накопичень, грн;

$V_{ЗДс}$ – ЗД за розмірно-якісне сортування, грн;

$V_{ЗДр}$ – ЗД за специфікаційний розкрій, грн;

$V_{ЗДв}$ – ЗД за сушіння до відповідної вологості, грн;

$V_{ПДу}$ – ПД на місцях заготівлі, грн;

$V_{ПДз}$ – ПД на місцях збирання, грн;

$V_{ПДп}$ – ПД за логістику до місць накопичень, грн;

$V_{ПДс}$ – ПД за розмірно-якісне сортування, грн;

$V_{ПДр}$ – ПД за специфікаційний розкрій, грн;

$V_{ПДв}$ – ПД за сушіння до відповідної вологості, грн.

Початкові дані для визначення ефекту щодо створення ламелей для МЩ згідно інформації, поданої з підприємств, де здійснювалось впровадження (табл. 5.1).

Таблиця 5.1.

Витрати на створення ламелей із ЗД та ПД, 10.08.23

ЗД-0	1600	400	125	75	960	620	840	3780	4000
ЗД-1	1000	400	125	100	1020	620	840	3265	3485
ЗД-2	800	400	125	125	1080	620	840	3150	3370
ЗД-3	600	400	125	150	1140	620	840	3035	3255
	Взду	Вздз	Вздп	Вздс	Вздр	Вздв	Вздв	Взд12	Взд18
Дере- вина	Вар- тість на місці	Вар-тість заготівлі	Вар- тість логіс- тики	Вар- тість сорту- вання	Вар- тість розкрою	W12%	W18%	W12%	W18%
						Ціна за сушіння		Абсолютна вартість 1 м ³	
Бук	Впду	Впдз	Впдп	Впдс	Впдр	Впдв	Впдв	Цпд60 W (60 %)	
Сорт-А	6400	1000	250	60	800	2000	2200	10510	
Сорт-В	5440	1000	250	80	850	2000	2200	9620	
Сорт-С	5120	1000	250	100	900	2000	2200	9370	
Сорт-Д	4800	1000	250	120	950	2000	2200	9120	
Сосна	Впду	Впдз	Впдп	Впдс	Впдр	Впдв	Впдв	Цпд60 W (60 %)	
Сорт-А	5100	1000	250	60	750	1600	1800	8760	
Сорт-В	4335	1000	250	80	800	1600	1800	8065	
Сорт-С	4080	1000	250	100	850	1600	1800	7880	
Сорт-Д	3825	1000	250	120	900	1600	1800	7695	

Примітка: ЗД – залишки деревини, W (12 %), ПД – свіжа кругла деревина W (60 %).

Величини визначення ефекту від технологічних процесів перероблення залишків деревини для використання монолітних чи зрощених ламелей наведено у табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Показники економічної ефективності перероблення ЗД на ламелі

Категорія	МЩ із бука, %		МЩ із сосни, %	
	W (12 %)	W (18 %)	W (12 %)	W (18 %)
ЗД-0	207,44	200,26	184,92	177,00
ЗД-1	215,62	208,44	195,68	187,77
ЗД-2	218,38	211,19	199,58	191,67
ЗД-3	225,67	218,48	209,13	201,21

Із табл. 5.2 видно, що чим менша якість ЗД, тобто короткомірні розмірно-придатні відрізки деревини, зокрема для ЗД-3, тим більша економічна

ефективність $EE_{\text{МЩ}}$ використання ЗД для виготовлення заготовок (на 8,7 % для бука та 13,5 % для сосни, у порівнянні із ЗД-0). З іншого боку, зростання вологості, приводить до затрат на теплоенергію для операцій сушіння, зокрема при зміні вологи з 12 до 18 % ефективність зменшується на 3,4-3,6 %.

Аналіз показників економічної ефективності $EE_{\text{МЩ}}$ перероблення ЗД на ламелі для меблевого щита демонструє, що раціональним є варіант створення меблевих щитів із зрощених бездефектних відрізків ЗД.

Ефект від математичної моделі для виробництва полягає у прийнятті швидких рішень щодо залучення ЗД певного сорту, наявного на складі.

5.1.2. Опис впливу технологічних складових на загальний показник економічної ефективності

Оскільки для математичної моделі залучено 6 часткових ефективностей, то є потреба проаналізувати кожен із них, тобто всі 6 доданків. Перш за все необхідно зазначити, що ЗД дешевші за первинну круглу деревину в середньому 4-8 разів. Встановлено, що показник вартості $EE_{\text{МЩ}}-e_1$ має додатне значення, так для деревини: бука становить -73,44 % (рис. 5.1); сосни -66,67 % (рис. 5.2), що пов'язано з ціною політикою на ці деревинні ресурси.

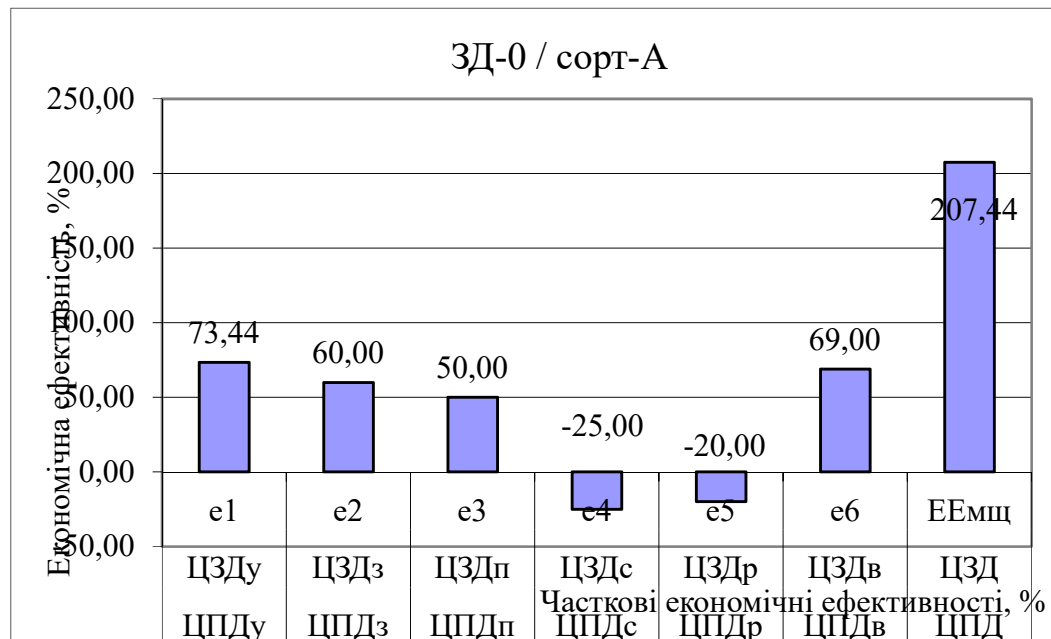


Рис. 5.1. Розрахункові значення часткових економічних ефективностей при використанні деревини бука

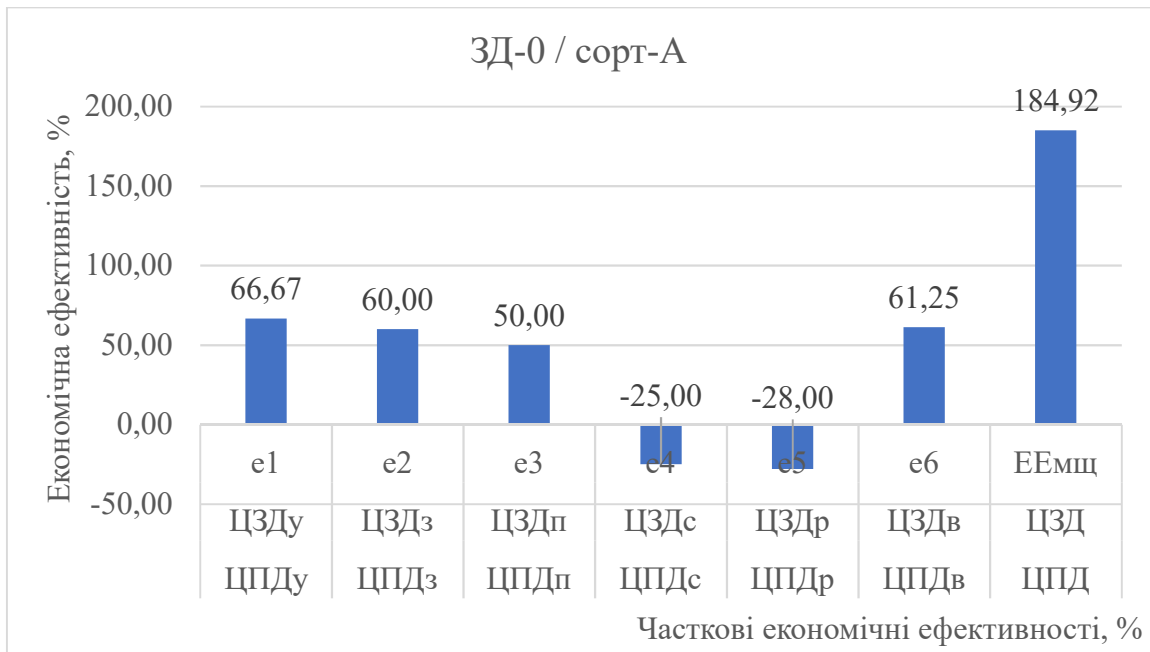


Рис. 5.2. Розрахункові значення часткових економічних ефективностей при використанні деревини сосни

Встановлено, що показник збирання $EE_{МЩ-e_2}$ має додатне значення, так для деревини: бука становить -60 % (рис. 5.1); становить -60 % (рис. 5.2), що пов'язано з накопиченістю в місцях утворення, ніж круглого лісу в нижніх складах лісових масивів.

Обґрунтовано, що показник логістики $EE_{МЩ-e_3}$ має плюсове значення, так для деревини: бука становить -50 % (рис. 5.1); становить -50 % (рис. 5.2), що пов'язано з меншою відстанню перевезення залишків від місць утворення, ніж круглого лісу з місць заготівлі.

Встановлено, що показник сортування $EE_{МЩ-e_4}$ має мінусове значення, так для деревини: бука становить -25 % (рис. 5.1); становить -25 % (рис. 5.2), що пов'язано з надходженням залишків з різних місць утворення.

Визначено, що показник розкрою $EE_{МЩ-e_5}$ має мінусове значення, так для деревини: бука становить -20 % (рис. 5.1); сосни становить -28 % (рис. 5.2), що пов'язано з великим розмірним асортиментом залишків.

Встановлено, що на загальний показник $EE_{МЩ}$ значно впливає процес сушіння, зокрема під час залучення ЗД, що мають значно меншу вологість, ніж первинна деревина, отримаємо економію коштів з процесів сушіння $EE_{МЩ-e_6}$: для бука – 69 % (рис. 5.1); для сосни – 61,25 % (рис. 5.2), яка базується на

зменшенні часу сушіння від 14 днів для первинної деревини до 4 днів для залишків деревини.

Таким чином, підсумкова $EE_{\text{мщ}}$ використання ЗД категорії ЗД-0 у порівнянні із ПД I сортової категорії для одержання розмірних, якісних, зокрема радіальних заготовок із деревини бука становить 207,44 %, а із деревини сосни 184,921 % і стимулює до впровадження ресурсоощадних технологій з виробництва, зокрема меблевих щитів.

5.2. Розрахунок кошторису виробничої собівартості традиційних меблевих щитів та меблевих щитів із залишків деревини різних конструкцій

Для подання практичних рекомендацій за результатами досліджень шляхом залучення розмірно-придатних бездефектних відрізків, отриманих з традиційної круглої деревини і з залишків деревини не основного виробництва, до технологічного процесу, треба здійснити математичні розрахунки стосовно отриманого ефекту – економічної ефективності.

Початкові дані для розрахунку собівартості меблевих щитів:

- Заготівля ділової ліквідної деревини з офіційного сайту Державної служби статистики України [119] та даних табл. 1.1 розділу 1 маємо дані за 2022 рік для порід: сосна звичайна – 7368,8 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 935,2 тис.м³;
- Приймаємо корисний вихід під час розпилування первинної деревини на рівні 70%;
- Ймовірність використання вищезгаданих порід для виробництва меблевого щита на рівні 20 %;
- Тоді обсяги сировина для виробництва меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 1031,632 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 130,928 тис.м³;
- Приймаємо корисний вихід під час виготовлення ламелей на рівні 25 %;

- Тоді обсяги меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 257,91 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 32,73 тис.м³;
- Приймаємо ринкову середньозважену ціну на меблеві щити, користуючись відповідними сайтами, на рівні: сосна звичайна – 29400 тис. грн за 1 м³; бук звичайний (лісовий) – 42000 тис. грн за 1 м³;
- Дохід від продажу меблевих щитів для даних обсягів складе: сосна звичайна – 7582,5 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 1374,74. млн.грн;
- Приймаючи товщину меблевого щита 24 мм, розраховуємо та заокруглюємо до цілого числа кількість щитів розміром 1000×1000 мм в одному кубі, приймаємо 42 шт;
- Тоді вартість одного метра квадратного меблевого щита із первинної деревини буде становити на рівні: сосна звичайна – 700 тис. грн за 1 м²; бук звичайний (лісовий) – 1000 тис. грн за 1 м²;
- Для розрахунку річної економії для даних обсягів розглянемо заміну первинної деревини даних порід на 50 % та на 100%;
- Використовуючи отримані значення економічної ефективності для порід (табл. 5.2 для ЗД-0: сосна звичайна – 184,92 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 207,44 млн.грн, ціна меблевих щитів складе : сосна звичайна – 15899 тис. грн за 1 м³; бук звичайний (лісовий) – 20247 тис. грн за 1 м³;
- Тоді, при конструкціях меблевих щитів 50 % із ПД та 50% із ЗД дохід від продажу меблевих щитів для даних обсягів складе: сосна звичайна – 5841,49 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 1018,74. млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 1741,00 млн.грн; та 356,00 млн. грн;
- При конструкціях меблевих щитів 100 % із ЗД дохід від продажу меблевих щитів для даних обсягів складе: сосна звичайна – 4100,49 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 662,73 млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 3482,00 млн.грн; та 712,00 млн. грн.
- Аналогічно, при конструкціях меблевих щитів 50 % із ПД та 50 % із ЗД вартість одного метра квадратного складе: сосна звичайна – 539,27 грн; бук звичайний (лісовий) – 741,04 грн;

- При конструкціях меблевих щитів 100 % із ЗД вартість одного метра квадратного складе: сосна звичайна – 321,45 грн; бук звичайний (лісовий) – 517,93 грн.

На основі одержаних та наведених результатів побудуємо порівняльну гістограму собівартості (рис. 5.3) МЩ із 100 % із ПД, МЩ 50 % із ПД та 50 % із ЗД та МЩ із 100 % із ЗД. Під час розрахунку кошторису МЩ із вхідних елементів різного походження (МЩ із ПД та МЩ із ЗД) встановлено, що є можливість отримати і екологічну, і матеріальну винагороду.

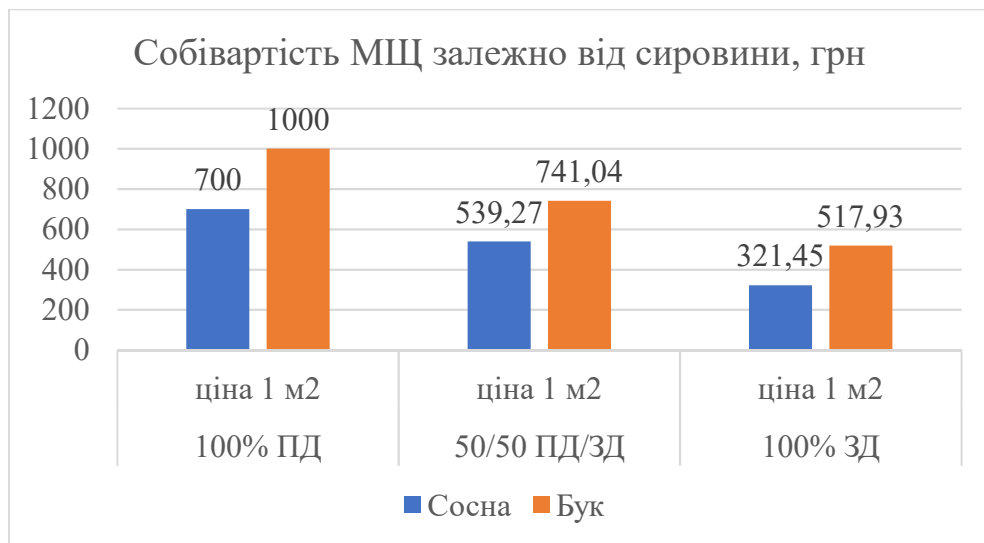


Рис. 5.3. Порівняльний аналіз виробничої собівартості МЩ із ПД та МЩ із ЗД різних конструкцій

5.3. Розрахунок економічного ефекту розрахункової вартості меблевих щитів від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості

Обґрунтування та початкові дані для розрахунку економічного ефекту розрахункової вартості меблевих щитів від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості наступна:

- Заготівля ділової ліквідної деревини з офіційного сайту Державної служби статистики України [119] та даних табл. 1.1 розділу 1 маємо дані за 2022 рік для порід: сосна звичайна – 7368,8 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 935,2 тис.м³;

- Ймовірність використання вищезгаданих порід для виробництва меблевого щита на рівні 20 %;
- Тоді обсяги колод для виробництва меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 1473,76 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 187,04 тис.м³;
- Приймаємо корисний вихід під час розпилювання колод на рівні 70 %;
- Тоді обсяги сировина для виробництва меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 1031,632 тис.м³; бук звичайний – 130,928 тис.м³;
- Приймаємо корисний вихід під час виготовлення ламелей на рівні 25 %;
- Тоді обсяги меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 257,91 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 32,73 тис.м³.

Зведені розрахунки початкових даних у табл. 5.3.

Таблиця 5.3.

Початкові дані для розрахунку економічного ефекту

Порода	Заготівля колод	На МЦ	Обсяг колод МЦ	Вихід дощок	Обсяг дощок МЦ	Вихід бездефектних ламелей	Обсяг МЦ
2022	тис.м ³	20%	тис.м ³	70%	тис.м ³	25%	тис.м ³
Сосна	7368,8	0,2	1473,76	0,7	1031,632	0,25	257,908
Бук	935,2	0,2	187,04	0,7	130,928	0,25	32,732

Методика розрахунку економічного ефекту розрахункової вартості меблевих щитів від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості наступна:

- Приймаємо брак (втрати) через проблеми з формостійкістю – випадкове укладання на рівні 10 %;
- Тоді обсяги браку меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 25,791 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 3,273 тис.м³;
- Приймаємо ринкову середньозважену ціну на меблеві щити, користуючись відповідними сайтами, на рівні: сосна звичайна – 29400 тис. грн за 1 м³; бук звичайний (лісовий) – 42000 тис. грн за 1 м³;
- Тоді втрати через брак меблевих щитів для даних обсягів складе: сосна звичайна – 758,25 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 137,474. млн.грн;

- Після запровадження практичних заходів щодо прогнозування стріл прогину брак зменшиться орієнтовно на 6 %;
 - Тоді обсяги браку меблевого щита складуть відповідно: сосна звичайна – 10,316 тис.м³; бук звичайний (лісовий) – 1,309 тис.м³;
 - Тоді річна економія від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості складе: сосна звичайна – 454,95 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 82,485 млн.грн;
 - Економія від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості складе для 1 м³ МЩ складе: сосна – 1764 грн; бук – 2520 грн.
- Зведені розрахунки економічного ефекту у табл. 5.4.

Таблиця 5.4.

Розрахунок економічного ефекту від впровадження рекомендацій

	Обсяг МЩ	Втрати укладання	Брак	Ціна, ПД	Втрата	Впровадження заходів	Брак	Річна економія	Економія на 1 м ³
	тис.м ³	10%	тис.м ³	грн	млн. грн	4%	тис.м ³	млн. грн	грн
Сосна	257,908	0,1	25,791	29400	758,25	0,04	10,316	454,950	1764
Бук	32,732	0,1	3,273	42000	137,47	0,04	1,309	82,485	2520

На основі одержаних та наведених результатів побудуємо порівняльну гістограму економічного ефекту від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості (рис. 5.4).

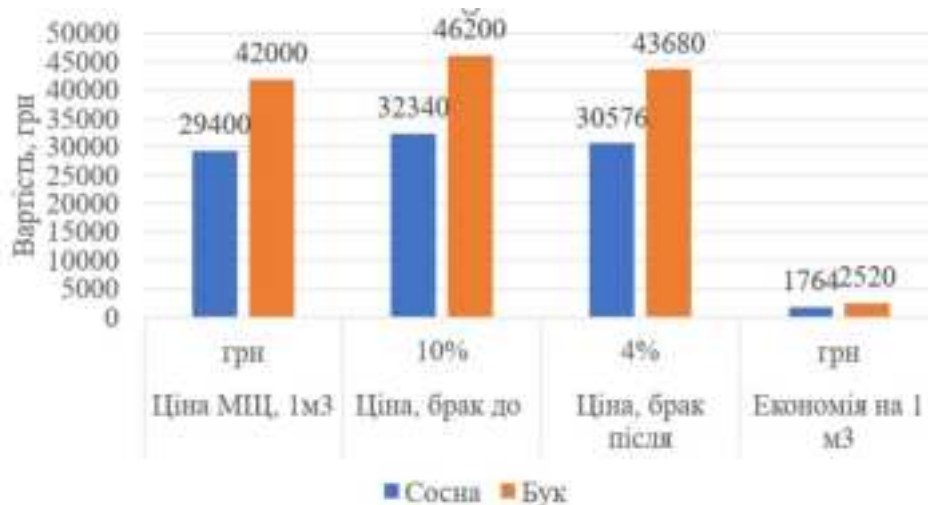


Рис. 5.4. Гістограма економічного ефекту від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості для 1 м³ меблевого щита

5.4. Висновки до економічного розділу

1. Розроблено математичну модель розрахунку економічної ефективності процесу одержання ламелей із монолітних та зрощених ламелей із бездефектних відрізків ЗД та ПД для меблевих щитів заданої формостійкості, використання якої дасть можливість прогнозувати перспективи розвитку підприємства, ефективно та швидко визначити кошторис виробничої собівартості меблевих щитів з бездефектних ділянок соснових та букових ламелей.

2. На підставі аналізу таких складових стосовно залучення ЗД для отримання МЩ, як наявність в зонах утворення чи накопичень, логістика до місць виготовлення розмірних заготовок, сортування за породою та забрудненням, обробка в розмір, сушіння до відповідної вологості, сформовано оптимізаційну модель $EE_{МЩ}$, що враховує вищеперераховані складові.

3. З'ясовано, що $EE_{МЩ}$ досягається за рахунок низької ціни на ЗД, зменшення витрат на збирання та заготівлю, суттєвого скорочення часу на сушіння заготовок ЗД у порівнянні із заготовками із ПД, особливостей складування, сортування та розкрою ЗД.

4. Розроблена модель $EE_{МЩ}$ допоможе виробникам МЩ правильно організувати технологічний процес при максимальному використанні ЗД, як додатковому резерві деревини, що здешевлює вартість конструкцій – МЩ.

5. Встановлено, що на загальний показник $EE_{МЩ}$ значно впливає процес сушіння, зокрема під час залучення ЗД, що мають значно меншу вологість, ніж первинна деревина, отримаємо економію коштів з процесів сушіння : для бука – 69 %; для сосни – 61,25 %.

6. Визначено за результатами економічних обчислень, що сумарне значення $EE_{МЩ}$ від залучення ЗД категорії ЗД-0 у порівнянні із ПД I сортової категорії для одержання розмірних, якісних, зокрема радіальних заготовок із деревини бука становить 207,44 %, а із деревини сосни 184,921 % і стимулює до впровадження ресурсощадних технологій з виробництва, зокрема меблевих щитів.

7. Під час розрахунку кошторису МЩ із вхідних елементів різного походження встановлено, що при застосуванні ЗД є можливість отримати і екологічну, і матеріальну винагороду. Суттєвий грошовий бонус для виробника МЩ – це максимальне залучення розмірно-придатних та якісних залишків у виробничий процес. Так, при конструкціях меблевих щитів 50 % із ПД та 50% із ЗД дохід від продажу меблевих щитів для обсягів 257,91 тис. м³ для сосни та 32,73 тис. м³ для бука складе: сосна звичайна – 5841,49 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 1018,74. млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 1741,00 млн.грн; та 356,00 млн. грн. А конструкцій меблевих щитів 100 % із ЗД дохід від продажу меблевих щитів для даних обсягів складе: сосна звичайна – 4100,49 млн.грн; бук звичайний (лісовий) – 662,73 млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 3482,00 млн.грн; та 712,00 млн. грн. Таким чином, розрахунки демонструють, що здешевлення МЩ із ЗД складає від 22,96 % до 25,89 % при конструкції 50%/50%, від 45,92 % до 51,79 % при 100 % використанні ЗД.

8. Розраховано, що при конструкціях меблевих щитів 50 % із ПД та 50% із ЗД вартість 1 м² складе: сосна звичайна – 539,27 грн; бук звичайний (лісовий) – 741,04 грн; при конструкціях меблевих щитів 100 % із ЗД вартість 1 м² складе: сосна звичайна – 321,45 грн; бук звичайний (лісовий) – 517,93 грн.

9. Визначено, що економія від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості складе для 1 м³ меблевого щита складе: сосна звичайна – 1764 грн; бук звичайний (лісовий) – 2520 грн.

Основні положення цього розділу наведено у публікаціях:

Подібка Т.І. Математична модель розрахунку економічної ефективності процесу виготовлення бездефектних відрізків для формостійких меблевих щитів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 58-69. doi:

<https://doi.org/10.36930/42214805> Посилання на статтю у збірнику:

<https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/11/10>

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблено та обґрунтовано науково-методичні основи визначення закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових монолітних та зрощених ламелей на формостійкість меблевих щитів, внаслідок чого була вирішена актуальна проблема підвищення якості, зокрема допустимої площинності різних конструкцій з прогнозованими значеннями стріл прогину, що безперечно має велике практичне значення для використання у виробництві виробів з деревини.

1. На основі аналізу літературних джерел визначено, що меблеві щити мають значні коливання стріл прогину поверхонь, що приводить до низької якості щитових конструкцій, тобто формостійкості. Результати проведеного аналізу засвідчили, що актуальна наукова проблема, яка пов'язана із встановленням закономірностей впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів різних конструкцій з прогнозованими характеристиками для використання у виробництві виробів з деревини, вирішена не повністю. Відсутність системного підходу до її вирішення в умовах апріорної невизначеності процесів підготовки ламелей залежно від пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина), від величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ, від кількості зрощених бездефектних відрізків в одній ламелі, а також способів укладання рейок в конструкціях виробів вказує на необхідність проведення подальших досліджень.

2. Реалізовано прогнозування формостійкості меблевих щитів із деревини бука звичайного на основі методу скінченних елементів, який враховує особливості властивостей монолітних або зрощених ламелей. Обґрунтовано та запропоновано методичний підхід для прогнозування можливого відхилення від площинності МЩ під час мінливості – зміни величини вологості та температури в приміщенні чи навколишньому середовищі. Розроблено математичну модель характеристик ламелей, що базується на використанні методу скінченних елементів МЩ на основі циліндричної системи координат

анізотропії постійних пружності, так як це доречно через особливості форми – відхилення від ідеальності річних шарів.

3. Розроблено математичні моделі прогнозування формостійкості для меблевих щитів товщиною 24 мм із склеєних рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), зокрема : залежність величини стріли прогину (формостійкості) $S_{рн}$ для МЩ із монолітних бездефектних відрізків з врахуванням пропорційності розмірів в поперечному перерізі ламелі (ширина : товщина) – коефіцієнта K_p та величин кутів між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ – коефіцієнта K_n ; залежність величини стріли прогину (формостійкості) S_z , що враховує кількість зрощених заготовок на 1 метр довжини та залежність величини стріли прогину (формостійкості) S_y , що враховує спосіб укладання. Розраховано коефіцієнти апроксимації для прогнозування характеристик меблевого щита.

4. На підставі обґрунтованої та запропонованої методики експериментальних досліджень, встановлено закономірності впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів. Експериментально отримано три регресійні залежності, що описують вплив на стрілу прогину меблевого щита поперечних розмірів рейок, кута нахилу річних кілець до пласті плити, монолітність ламелей та спосіб укладання.

5. Експериментально визначено стріли прогину для меблевих щитів із деревини **сосни звичайної (*Pinus sylvestris*)** та побудовано адекватну регресійну модель залежно від почергового укладання радіальних ($B_{рад}$) та тангентальних ($B_{тан}$) рейок ширинами 20, 50 та 80 мм при товщині 20 мм. Встановлено, що ширина рейок в конструкції меблевих щитів суттєво впливає на формостійкість конструкції. Обидва змінних фактори впливають прямопропорційно. Найбільше на **стрілу прогину S_c** меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) з почерговим укладанням за кутом нахилу річних шарів радіальних (кут нахилу річних кілець у перерізі бездефектних відрізків – рейок до площини щита 61-

90°) та тангентальних (кут нахилу річних кілець у перерізі бездефектних відрізків – рейок до площини щита 1-30°) впливає другий фактор $V_{\text{тан}} (x_2)$ – ширина тангентальних рейок. Вплив другого фактору $V_{\text{тан}} (x_2)$ на формостійкість у порівнянні з першим (радіал) $V_{\text{рад}} (x_1)$ є в 1,56 рази більшим. Виявлено, що збільшення ширини від 20 до 80 мм для радіальних рейок призводить зростання стріли прогину на 94,73-122,91 %, а для тангентальних – стріла прогину зростає на 203,45-288,51 %.

6. Експериментально визначено стріли прогину для меблевих щитів із деревини **бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)** різного поперечного перерізу, зокрема товщиною ($V_{\text{тов}} = 16, 24, 32$ мм) та шириною ($V_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм), що склеювались крайками на гладку фугу та формували різні конструкції клеєних щитів. Результати цього дослідження дали змогу отримати регресійну модель, що описує залежності показника **стріли прогину S_6** від впливу ширин та товщин рейок, тобто поперечного перерізу для встановлення раціональних співвідношень, що забезпечувало б значення стріли прогину з межах норми. Встановлено, що обидва змінних фактори впливають, але по різному: товщина – оберненопропорційно, тобто забезпечує формостійкість конструкції, ширина – прямопропорційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість МЩ із деревини твердолистяних порід, зокрема **бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)** з почерговим укладанням впливає другий фактор $V_{\text{шир}} (x_2)$ – ширина рейок. Вплив першого фактору $V_{\text{тов}} (x_1)$ на формостійкість у порівнянні з другим $V_{\text{шир}} (x_2)$ є в 1,7 рази меншим. Виявлено, що збільшення ширини від 36 до 84 мм призводить зростання стріли прогину на 210,16-292,85 % для різних товщин, а збільшення товщини від 16 до 32 мм для різних ширин призводить зменшення стріли прогину на 121,07-172,73 %.

7. Отримано регресійну залежність для прогнозування формостійкості меблевих щитів, в яких рейки із масиву **бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)** різного поперечного перерізу, зокрема товщиною 24 мм, шириною ($V_{\text{шир}} = 36, 60, 84$ мм) та кутом нахилу річних шарів, A_n : тангентальний 0-30°; напіврадіальний 31-60°; радіальний 61-90°. Результати цього дослідження дали

зможу отримати рівняння регресії для визначення стріли прогину меблевих щитів $S_{рн}$, залежно від змінних чинників – ширини заготовок ($x_1, B_{шир}$) та кута нахилу річних шарів (x_2, A_n). Обидва змінних фактори впливають по різному: збільшення кута – зменшує стрілу прогину, ширина – прямопропорційно, тобто збільшує стрілу прогину із зростанням ширини. Найбільше на формостійкість меблевих щитів із деревини твердолистяних порід, зокрема бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з почерговим укладанням впливає перший фактор A_n (x_1) – величина кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ. Встановлено, що вплив другого фактору $B_{шир}$ (x_2) на $S_{рн}$ у порівнянні з першим A_n (x_1) є в 2,4 рази меншим. Виявлено, що збільшення ширини від 36 до 84 мм призводить збільшення величини стріли прогину на 128,17-169,75 % для різних кутів, а збільшення кутів нахилу від 0 до 90° призводить також зменшення на 145,57-234,81 % для різних ширин:

8. За результатами експериментальних досліджень з'ясовано, що збільшення ширини рейок від 1:1 до 1:3,5 (співвідношення товщина – ширина) зумовлює зростання стріли прогину відносно площини МЩ (на 128,17-169,75 %); збільшення величини кута між дотичною річного кільця в ламелі до загальної площини МЩ від 0 до 90° призводить до покращення формостійкості (на 145,57-234,81 %); збільшення кількості зубчастих з'єднань в ламелях, що конструкціях меблевих щитів призводить до зменшення відхилення від площинності (на 2,82-7,1 %); використання схеми укладання ламелей певних розмірів від найгіршої до найоптимальнішої призводить до зменшення відхилення від площинності (на 108,6-215,0 %). Встановлено, що відхилення значень, одержаних за математичними моделями при перевірці на формостійкість різних конструкцій меблевих щитів порівняно із експериментальними даними, не перевищували 19,68 % для характеристик рейок, 18,84 % для зрощених ламелей та 45,64 % для схем укладання.

10. Розроблено математичну модель розрахунку економічної ефективності $EE_{МЩ}$ процесу одержання ламелей із монолітних та зрощених ламелей із бездефектних відрізків залишків деревини (ЗД) та первинної деревини (ПД) для

МЩ заданої формостійкості, використання якої дасть можливість прогнозувати перспективи розвитку підприємства, ефективно та швидко визначити кошторис виробничої собівартості МЩ з бездефектних ділянок соснових та букових ламелей. Визначено за результатами економічних обчислень, що сумарне значення $EE_{\text{МЩ}}$ від залучення ЗД категорії ЗД-0 у порівнянні із ПД I сортової категорії для одержання розмірних, якісних, зокрема радіальних заготовок із деревини бука становить 207,44 %, а із деревини сосни 184,921 % і стимулює до впровадження ресурсоощадних технологій з виробництва, зокрема МЩ. Під розрахунку кошторису МЩ із вхідних елементів різного походження встановлено, що при застосуванні ЗД є можливість отримати і екологічну, і матеріальну винагороду. Суттєвий грошовий бонус для виробника МЩ – це максимальне залучення розмірно-придатних та якісних залишків у виробничий процес. Так, при конструкціях МЩ 50 % із ПД та 50 % із ЗД дохід від продажу меблевих щитів для обсягів 257,91 тис. м³ для сосни та 32,73 тис. м³ для бука складе: сосна – 5841,49 млн.грн; бук – 1018,74. млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 1741,00 млн.грн; та 356,00 млн. грн., зокрема, для конструкцій меблевих щитів 100% із ЗД дохід від продажу МЩ для даних обсягів складе: сосна – 4100,49 млн.грн; бук – 662,73 млн.грн, а відповідно – заощадження складуть 3482,00 млн.грн; та 712,00 млн. грн. Таким чином, розрахунки демонструють, що здешевлення МЩ із ЗД складає від 22,96 % до 25,89 % при конструкції 50%/50%, від 45,92 % до 51,79 % при 100 % використанні ЗД. Розраховано, що при конструкціях меблевих щитів 50 % із ПД та 50% із ЗД вартість 1 м² складе: сосна звичайна – 539,27 грн; бук звичайний (лісовий) – 741,04 грн; при конструкціях МЩ 100% із ЗД вартість 1 м² складе: сосна звичайна – 321,45 грн; бук звичайний (лісовий) – 517,93 грн. Визначено, що економія від запровадження практичних рекомендацій щодо формостійкості складе для 1 м³ МЩ складе: сосна звичайна – 1764 грн; бук – 2520 грн.

9. Отримані результати впроваджено: у навчальний процес – НЛТУ України, у технологічні процеси двох підприємств : з виробництва МЩ – «ВГСМ»; з виготовлення меблевих фасадів – «Явір».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. COST Action E31. National summary reports on the European market of recovered wood (2002-2007). – 335 p.
2. COST Action E9. Life Cycle Assessment (LCA) of Forestry and Forest Products (1997-2001).
3. COST E49. Processes and performance of wood-based panels / Final Conference. – Nantes, France. (14-15.08.2009). – 18 p.
4. Gayda S.V. A comparative analysis of physical and mechanical parameters of variously designed glued boards made of post-consumer recovered wood / S.V. Gayda // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2010, вип. 36. – С. 81-91.
5. Gayda S.V. A investigation of form of stability of variously designed blockboards made of post-consumer wood / S.V. Gayda // ProLigno : Scientific Journal. – Editura Universitatii «TRANSILVANIA» din Brasov. – 2016. – Vol. 12. No.1. – P. 22-31.
6. Gayda S.V. Modeling properties of blockboards made of post-consumer wood on the basis of the finite element method / S.V. Gayda // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2015, вип. 41. – С. 39-49.
7. Gayda S.V. Potential of post-consumer recovered wood and possible ways of it using in Ukraine / S.V. Gayda // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2009, вип. 35. – С. 63-83.
8. Gayda S.V. Production techniques and properties of fuel pellets produced from post-consumer wood / S.V. Gayda // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2012, вип. 38. – С. 112-150.
9. Gayda S.V. Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine. Adhesives in Woodworking Industry / S.V. Gayda // Proceedings of the XXth International Symposium, June 29 – July 21, 2011. – Technical university of Zvolen. – 2011. – P. 108-120.

10. Gayda S.V. Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood / S.V. Gayda // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2016, вип. 42. – С. 33-50.

11. Gayda S.V. Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboard / S.V. Gayda // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2014, вип. 40. – С. 41-51.

12. Gayda S.V. Techniques for utilization of post-consumer wood in the production of fuel pellets and briquettes / Adhesives in Woodworking Industry : proceedings of the XXIth International Symposium, June 26 – June 28, 2013. – Technical university of Zvolen. – 2013. – P. 163-177.

13. Gayda S.V. The investigation of physical and mechanical properties of wood particleboards made from post-consumer wood / S.V. Gayda // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2011, вип. 37.2. – С. 95-110.

14. Gayda S.V., Dyak T.P. The analysis of economic efficiency of post-consumer wood use for particleboard manufacture for LLC Swisspan Limited / Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2011, вип. 37.2. – С. 129-136.

15. Gayda S.V. From recycled post-consumer wood towards prime quality particleboard / S.V. Gayda, V.M. Maksymiv // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2010, вип. 36. – С. 57-77.

16. Gayda S.V. Analysis of management approaches for post-consumer recovered wood in Ukraine. In Trends in Furnishings and Housing / S.V. Gayda, V.M. Maksymiv, T.Yu. Tunytsya // Proceedings of the International Scientific Conference, 23-24 november 2010. – Mendel University in Brno. – 2010. – P. 161-177.

17. Gayda, S.V., Kiyko O.A. (2020). Determining the regime parameters for the surface cleaning of post-consumer wood by a needle milling tool. Eastern-European

Journal of Enterprise Technologies, 5 (1 (107)), 89–97. doi:
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>

18. Gayda, S.V., Kiyko O.A. (2020). The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood. Poznan : Drewno, 63 (206), 77-102. doi:
<https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>

19. García, P., Escamilla, A., & García, M. (2011). Bending reinforcement of timber beams with composite carbon fiber and basalt fiber materials. Architectural Construction Department, School of Building Engineering, Polytechnic University of Madrid, (pp. 41–50). (Chapter 1). Spain.

20. Dahlblom, O., Ormarsson, S., & Petersson, H. (1996). Simulation of wood deformation processes in drying and other types of environmental loading. *Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences*, 53(4), 857–866.

21. *Handbook of Wood Science and Technology* / Peter Niemz, Alfred Teischinger, Dick Sandberg. – Springer Nature Switzerland AG. – 2023.

22. *Handbook of solid waste management* / Frank Kreith. Editor in Chief. – New York: McGraw-hill, Inc. – 1994.

23. Hesch R., 2002. Method and apparatus for breaking down used materials into reusable components, particularly for recycling wood products, used furniture, automobile composite materials and similar products. Patent No. US2002170989.

24. Kontek W, Bauza J, Nowak K (1960): Tests on the physical and mechanical properties of block-boards // *Drewno : Scientific Journal*. – Prace Instytutu Technologii Drewna, Poznan. Vol. 7(2):27-44.

25. Laufenberg T, Ayrilmis N, White R (2006): Fire and bending properties of blockboard with fire retardant treated veneers, *Holz als Roh- und Werkstoff*. Vol. 64(2):137–143.

26. Ratajczak E. Market in wood by-products in Poland and their flows in the wood sector / E. Ratajczak, A Szostak, G. Bidzińska, E. Leszczyszyn. – Poznan : Drewno, 2018. – Vol. 61, No 202. – P. 5-20.

27. TRADA Technology Ltd. Wood used in joinery; The UK mass balance and efficiency of use, June. – 2005b.

28. TRADA Technology Ltd. Wood used in packaging; The UK mass balance and efficiency of use, June. – 2005a.

29. UNECE: Wood resources availability and demands II – future wood flows in the forest and energy sector. European countries in 2010 and 2020. Background paper to the UNECE/ FAO Workshop on Wood balances, Geneva. – 2008.

30. Wood Handbook. (2010). Wood as an Engineering Material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–190. Madison, WI: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 508 p.

31. Базієвський С. Д., Дмитришин В. В. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання. Підручник. – К.: Либідь, 2004. — 504 с.

32. Беднарчук, М.С. Шумський О.В. Товарознавство. Непродовольчі товари: меблі: підручник. – Львів : Магнолія, 2008. – 424 с.

33. Бойко С.В. Моделювання фізико-механічних властивостей модифікованої деревини методом скінченних елементів / С.В. Бойко, А.М. Єрошенко // Технічні науки та технології : Вісник ЧДТУ: наук. зб. – Чернігів : ЧДТУ. – 2016. – Вип. 2.4. – С. 184–188.

34. Вінтонів, І.М. Сопушинський І.М., Сопушинська М.П. // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.6. – С. 113-117.

35. Вінтонів І.С., Сопушинський І.М., Тайшінгер А. Деревинаознавство: Навч. посібн. Львів: Априорі, 2007. – 312 с.

36. Войтович І.Г. Основи технології виробів з деревини / І.Г. Войтович – Львів: Країна ангелів, 2010. – 305 с.

37. Войтович І.Г. Основи технології меблів та виробів з деревини: Навч. посібн. – Львів: Інтеллект-Захід, 2004. – 224 с.

38. Гайда С.В. Науково-технічні основи використання вживаної деревини в деревообробці: дисертація доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.06 – технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини. – Львів: НЛТУ України, 2019. – 465 с.

39. Гайда С.В. Аналіз конструкцій та технологій виготовлення сучасних меблевих фасадів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2020, вип. 46. – С. 54-64. doi: <https://doi.org/10.36930/42204606>

40. Гайда С.В. Аналіз, особливості, проблеми та досвід використання додаткових ресурсів сировини – відходів та вживаної деревини / С.В. Гайда, В.М. Максимів // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2007, вип. 33. – С. 63-73.

41. Гайда С.В. Вживана деревина – додатковий ресурс сировини / С.В. Гайда / Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2011, вип. 37.1. – С. 238-244.

42. Гайда С.В. Визначення та порівняння властивостей вживаної деревини основних хвойних порід /С.В. Гайда // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть:міжвід. наук.-техн. зб.– Львів: НЛТУ України.– 2019,вип.45. –С. 38-49

43. Гайда С.В. Прогресивні технології повздожнього зрошування. – К.: WOODbusiness, 2004, т. 2. – С. 34–37.

44. Гайда С.В. Дослідження та аналіз характеристик щитових конструкцій із вживаної деревини / С.В. Гайда // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2018, вип. 44. – С. 14-24

45. Гайда С.В. Дослідження формостійкості клеєних щитів із вживаної деревини / С.В. Гайда, Я.М. Білий // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2016, вип. 42. – С. 69-79.

46. Гайда С.В. Дослідження характеристик та порівняльний аналіз столярних плит різних конструкцій із вживаної деревини / С.В. Гайда, А.В. Домагальський // Матеріали 69-ої наук.-техн. конф. НЛТУ України. – Львів: НЛТУ України. – 2017. – С. 140-142.

47. Гайда С.В. Еколого-економічні аспекти використання вживаної деревини / С.В. Гайда // Еколого-економічні та соціальні проблеми неефективних і несталих методів ведення лісового господарства та незаконних лісозаготівель в

Україні : зб. матеріалів міжн. наук.-практ. конф., 2-3 грудня 2010 р. – Львів: Зелений Хрест. – 2011. – С. 212-218.

48. Гайда С.В. Комплексні дослідження зміни пружних властивостей вживаної деревини ялиці з віком / С.В. Гайда // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2017, вип. 43. – С. 58-72.

49. Гайда С.В. Матеріали для виготовлення виробів з деревини: Навч. посібн. – Л.: ВМС, 2000. – 160 с.

50. Гайда С.В. Міцність комбінованих столярних плит із вживаної деревини // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ ім. П.Василенка. – 2018, вип. 197. – С. 3-9.

51. Гайда С.В., Грицак С.А. Порівняльний аналіз фізико-механічних характеристик гнутих елементів із різних порід дерев. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2020, вип. 46. – С. 16-27. doi: <https://doi.org/10.36930/42204602>

52. Гайда С.В. Основи формування класифікатора вторинних деревинних ресурсів / С.В. Гайда // Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2013, вип. 11. – С. 208-215.

53. Гайда С.В. Проблема деревної сировини у Європі та Україні / С.В. Гайда // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2007, вип. 33. – С. 55-63.

54. Гайда С.В. Раціональне конструювання виробів з деревини: Навч. посібн. – Львів.: "ВМС", 2001. – 93 с.

55. Гайда С.В. Ресурсоощадні технології перероблення вживаної деревини / Серія «Техніка та енергетика АПК» / С.В. Гайда // Науковий вісник НУБіП України : зб. наук. праць. – К.: РЦ НУБіП України. – 2013, вип. 185. – Ч.2 – С. 271-280.

56. Гайда С.В. Розроблення конструкцій та технології столярних плит із вживаної деревини / С.В. Гайда // Деревооброблювальні технології та

системотехніка лісового комплексу : зб. матеріалів наук.-практ. конф., 24-25 жовтня 2019 р. – Харків: ХНТУСГ. – 2019. – С. 69-70.

57. Гайда С.В. та ін. Рекомендації з встановлення допусків та посадок в технічній документації на вироби з деревини // Метод. вказівки. – Львів: УкрДЛТУ, 2001. – 29 с.

58. Гайда С.В. Технології і фізико-механічні властивості столярних плит із вживаної деревини / С.В. Гайда // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – Харків: ХНТУСГ ім. П.Василенка. – 2015, вип. 3. – С. 145-152.

59. Гайда С.В. Технології та рекомендації до використання вживаної деревини в деревообробленні / С.В. Гайда // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2013, вип. 39.1. – С. 48-67.

60. Гайда С.В. Технологічні рішення з перероблення вживаної деревини / С.В. Гайда // Формування сталого світогляду як основа стратегії сталого розвитку : матеріали I міжнар., міждисц. наук.-практ. конф., 14-16 березня 2013 р. – Львів: НЛТУ України. – 2013. – С. 5-11.

61. Гайда С.В. Формостійкість як критерій якості столярних плит із вживаної деревини / С.В. Гайда, О.А. Кійко // Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2018, вип. 17. – С. 185-192.
<https://doi.org/10.15421/411834>

62. Гайда С.В. Хімічний склад та ступінь забруднення – основа систематизації ВЖД / С.В. Гайда // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2008, вип. 34. – С. 58-66.

63. Гайда С.В., Войтович І.Г., Оріховський Р.Я. Дослідження технологічних процесів виготовлення ніжок столів обідніх різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2020, вип. 46. – С. 36-48. doi: <https://doi.org/10.36930/42204604>

64. Гайда С.В., Ільків М.М. Дослідження технологічних процесів виготовлення меблевих фасадів з масивної деревини. Ліс. госп-во, ліс., папер.

та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2021, вип. 47. – С. 22-33. doi: <https://doi.org/10.36930/42214703>

65. Гайда С.В., Ільків М.М., Салапак Л.В. Порівняльний аналіз технологічних процесів виготовлення різних конструкцій розсувних дверей прихож. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 28-40. doi: <https://doi.org/10.36930/42214803>

66. Гайда С.В., Кійко О.А. Властивості вживаної деревини як визначальний чинник якості меблевих виробів. Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2021, вип. 23. – С. 152-162. doi: <https://doi.org/10.15421/412135>

67. Гайда С.В., Лесів Л.Е. Визначення та порівняння властивостей вживаної деревини основних хвойних порід / С.В. Гайда // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2019, вип. 45. – С. 39-46. doi: <https://doi.org/10.36930/42194506>

68. Гайда С.В., Кшивецький Б.Я., Войтович І.Г., Прокопович Б.В. Тлумачний словник з деревооброблення. – Львів: Ромус, 2002. – 280 с.

69. Гайда С.В., Сомар Г.В. Соколовський І.А. Хімічна природа забруднювачів як основа класифікації виробів з деревини, що підлягають утилізації. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 14-27. doi: <https://doi.org/10.36930/42214802>

70. Горкавий В.К., Ярова В.В. Математична статистика: Навч. посібн. – К.: ВД „Професіонал”, 2004. – 384с.

71. Дендюк М.В. Застосування методу скінченних елементів для розрахунку нестационарних полів вологоперенесення у висушуваній деревині / М.В. Дендюк, Б.П. Поберейко, Я.І. Соколовський // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2003, вип. 27. – С. 100-106.

72. Дендюк М.В. Математична модель двовимірного в'язкопружного стану деревини у процесі сушіння: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд.

техн. наук: 01.05.02 «Математичне моделювання та обчислювальні методи» / М.В. Дендюк. – Львів, 2008. – 22 с.

73. ДСТУ EN 12775:2004. Щити дерев'яні. Класифікація та термінологія (EN 12775:2001). – Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. – 10 с.

74. ДСТУ EN 13017-1:2004. Щити дерев'яні. Класифікація за зовнішнім виглядом. Частина 1. Хвойна деревина (EN 13017-2:2000). – [Чинний від 2006-04-01]. – Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. – 10 с. – (Національний стандарт України).

75. ДСТУ EN 13017-2:2004. Щити дерев'яні. Класифікація за зовнішнім виглядом. Частина 2. Листяна деревина (EN 13017-2:2000). – [Чинний від 2006-04-01]. – Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. – 8 с. – (Національний стандарт України).

76. ДСТУ EN 13353:2009. Щити дерев'яні. Вимоги. (EN 13353:2003, IDT)

77. ДСТУ EN 13353:2022 (EN 13353:2008+A1:2011, IDT). Плити з цільної деревини (SWP). Вимоги.

78. ДСТУ EN 13354:2009. Щити дерев'яні. Метод визначення якості з'єднання (EN 13354:2008, IDT).

79. ДСТУ EN 350-2:2004. Стійкість деревини та виробів з деревини. Природна стійкість суцільної деревини. Частина 2. Настанови щодо природної стійкості та просоченості окремих деревних порід, що мають значення в Європі (EN 350-2:1994). – Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. – 38 с.

80. ДСТУ EN 460:2004. Стійкість деревини та виробів з деревини. Природна стійкість суцільної деревини. Настанови щодо вимог стійкості деревини стосовно класів небезпеки (EN 460:1994). – Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. – 24 с.

81. ДСТУ ISO 3129:2015. Деревина. Методи відбору зразків і загальні вимоги до фізико-механічних випробувань невеликих бездефектних зразків (ISO 3129:2012, IDT). – Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2016. – 16 с.

82. Дубенець В.Г., Хільчевський В.В., Савченко О.В. Основи методу скінченних елементів: Навч. посіб. – Чернігів: ЧДТУ, 2007. – 288 с.

83. Дячун З. Й. Основи взаємозамінюваності конструювання меблів. – Львів: Афіша, 2002 – 134 с.
84. Дячун З.Й. Конструювання меблів: Гратчасті та м'які: Навч. посібн. – К.: Вид. дім «Києво-Мог. акад.», 2011. – Ч.2. – 482 с.
85. Дячун З.Й. Конструювання меблів: Корпусні вироби: Навч. посібн. – К.: Вид. дім «Києво-Мог. акад.», 2007. – Ч.1. – 387 с.
86. Железна А.О., Кирилович В.А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: навч. посібн. – К.: Кондор, 2009. – 796 с.
87. Кійко І.О. Вплив розмірів структурних елементів клеєних щитів на їх формостійкість / І.О. Кійко // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук. праць. – Львів : НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.5. – С. 169-175.
88. Кійко І.О. Закономірності впливу лінійних розмірів структурних елементів меблевого щита на відхилення у напрямках вздовж і поперек волокон / Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук. праць. – Львів : НЛТУ України – 2014. – Вип. 24.8. – С. 156-168.
89. Кійко О.А. Кластерний підхід і кластерний аналіз у лісовому секторі / О.А. Кійко, М.М. Якуба, І.Г. Войтович, О.Р. Прокопович. – Івано-Франківськ: Фоліант, 2010. – 260 с.
90. Кійко О.А. Науково-технічні основи процесу калібрування-шліфування деревинностружкових плит жорстким абразивним інструментом: дис... докт. техн. наук: 05.23.06 / Кійко Орест Антонович. – Львів, 2008. – 357 с.
91. Кійко О.А. Статистичні методи підвищення якості продукції деревооброблення. – Львів: Панорама. – 228 с.
92. Кривик О.О. Визначення модулів пружності заготовок з деревини дуба акустичним способом / О.О. Кривик, В.О. Маєвський, Удовицька М. В., В.М. Борисов, О.Л. Сторожук // Вісник ХНТУСГ, вип. 160. – Харків. – 2015. – С. 15-22.
93. Кривик О.О. Динаміка зміни формостійкості щитів клеєних з поєднанням різних порід деревини / О.О. Кривик, В.О. Маєвський // Лісове господарство,

лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : НЛТУ України. – 2011. – Вип. 37.1. – С. 30-33.

94. Кривик О.О. Особливості поєднання різних порід деревини у клеєний щит із збереженням формостійкості / Магістерська робота. – Львів : НЛТУ України. – 2009. – 140 с.

95. Кривик О.О. Передумови поєднання різних порід деревини у клеєних щитах / О.О. Кривик, В.О. Маєвський, С.В. Жмурко // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів : НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.11. – С. 155-160.

96. Кшивецький Б.Я. Прогнозування довговічності з'єднань деревини клеями на термопластичній основі: дис... докт. техн. наук: 05.23.06 / Кшивецький Богдан Ярославович. – Львів, 2013. – 300 с.

97. Кшивецький Б.Я., Кіндзера А.Р. Встановлення розподілу нормальних і тангентальних напружень у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини. Науковий вісник НЛТУ України. – Львів : НЛТУ України. – 2022. – Вип. 32.6. – С. 71-77.

98. Кшивецький Б.Я., Тивунька І.Й. Міцність та довговічність термопластичних клейових з'єднань деревини: монографія. – Львів: ГВС, 2018. – 188 с.

99. Лященко М.Я., Головань М.С.. Чисельні методи. – К.: Либідь, 1996. – 288 с.

100. Маєвський В.О. Аналіз способів оцінювання розмірно – якісної характеристики колод / В.О. Маєвський // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревообр. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2004, вип. 29. – С. 149-156.

101. Маєвський В.О. Бенях Ю.В. Дослідження формостійкості клеєних щитів з масивної деревини дуба / Науковий вісник НЛТУ України. – Львів : НЛТУ України. – 2005. – Вип. 15.5. – С. 199-208.

102. Маєвський В.О., Копинець З.П., Ференц О.Б., Миськів Є.М., Федик М.М. Оцінювання витрати букової пиловочної сировини на виготовлення чорнових заготовок із заданими розмірно-якісними характеристиками. Наукові

праці Лісівничої академії наук України : збірник наукових праць. – Львів: Манускрипт. – 2021. – Вип. 22. – С. 227-234.

103. Маєвський В.О. Математична модель розпилювання колод на радіальні пиломатеріали секторним способом / Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 28. – С. 122-125.

104. Маєвський В.О. Науково-технічні основи виробництва пилопродукції з урахуванням форми та розмірно-якісної характеристики лісоматеріалів: дис... докт. техн. наук: 05.23.06 / Маєвський Володимир Олександрович. – Львів, 2013. – 410 с.

105. Маєвський В.О., Копинець З.П., Ковбасюк В.М., Миськів Є.М., Якуба М.М. Технологічні аспекти регулювання витрат деревинної сировини під час виготовлення віконних блоків з тришарового клеєного бруса. Наукові праці Лісівничої академії наук України : збірник наукових праць. – Львів: Манускрипт, 2019. – Вип. 18. – С. 208-216.

106. Максимів Л.І., Загвойська Л.І., В.П. Климович Використання енергетичного потенціалу деревини: еколого-економічний вимір / Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2016, вип. 14. – С. 244-251.

107. Максимчук Р.Т. Анізотропія розбухання прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини *Abies Alba Mill.* Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(10). С. 106–110.

108. Максимчук Р.Т., Сопушинський І.М., Тимочко І.Я. Особливості формування річного кільця та базисної щільності прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини *Abies Alba Mill.* Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(9). С. 30–33.

109. Марченко Н.В. Технологічні рішення з підвищення ефективності процесу виготовлення радіальних пиломатеріалів: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.23.06 «Технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини» / Н.В. Марченко. – К., 2011. – 20 с.

110. Матвеев М.Е. Еколого-економічні основи комплексного використання ресурсів низькоякісної та уживаної деревини і деревинних відходів: дис... канд. екон. наук: 08.08.01 / Матвеев Микола Едуардович. – Львів: УкрДЛТУ, 2001. – 209 с.

111. Мацишин Я.В. Генерування схем розкрою пиломатеріалів на бездефектні ділянки за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення / Я.В Мацишин, А.М. Дель Ріо , В.О. Маєвський // Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2011, вип. 37.1. – С. 34-39.

112. Мацишин Я.В. Нечітка експертна система для моделювання процесу поперечного розкрою пиломатеріалів на заготовки / Я.В. Мацишин // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.15. – С. 362-369.

113. Мацишин Я.В.. Підвищення ресурсоощадності виготовлення заготовок з пиломатеріалів: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.23.06 «Технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини» / Я.В. Мацишин. – Львів, 2014. – 20 с.

114. Миськів Є.М. Особливості методики визначення виду розпилювання пиломатеріалів / Є.М. Миськів, В.О. Маєвський, В.М. Максимів // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.3. – С. 137-140.

115. М'якуш Б.М., Кшивецький Б.Я. Математичне моделювання формостійкості паркетної дошки склеєної термопластичними клеями / Проблеми трибулогії. – 2016. – №1. – С. 42-47.

116. Невмержицький О.В. Аналіз сучасних моделей, орієнтованих на знання, та методів прийняття рішень / Інформаційні технології проектування. – 2013. – №13. – С. 119 -125.

117. Pylypchuk M., Mayevskyy V., Taras V., Burdiak M., Kopynets Z.. Patterns of changes in technological accuracy of plano-milling machines during the

period of the cutting tool wear resistance. ACTA FACULTATIS XYLOLOGIAE ZVOLEN, 65(1): 5–21, 2023. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene.

118. Овчаренко В.А., Подлесний С.В., Зінченко С.М. Основи методу скінченних елементів і його застосування в інженерних розрахунках. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 380 с.

119. Офіційний сайт Державної служби статистики України.

<https://ukrstat.gov.ua/work/contact.html>

120. Пилипчук М.І., Григор'єв А.С., Шостак В.В. Основи наукових досліджень: Підручник. – К.: Знання, 2007. – 270 с

121. Писаренко Г.С. Опір матеріалів / Г.С. Писаренко. – К. «Вища школа», 2004, 656 с.

122. Пінчевська О.О. Актуальні напрями розвитку деревообробної промисловості в Україні / О.О. Пінчевська // Національний університет водного господарства та природокористування.

123. Пінчевська О.О., Горбачова О., Спірочкін А., Роговський І. (2019). Properties of hornbeam (*carpinus betulus*) wood thermally treated under different conditions. Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 61(2): 25–39, DOI: <https://doi.org/10.17423/afx.2019.61.2.03>

124. Пінчевська О.О., Зав'ялов Д.Л. (2021). Властивості нового теплоізоляційного матеріалу з низькоякісної деревини сосни. Ukrainian journal of forest and wood science. DOI: <https://doi.org/10.31548/forest2020.02.091>

125. Пінчевська О.О., Лакида Ю.П., Баранова О.С., Білецький М.О., Головач В.М., Олійник Р.В., Єрошенко А.М. (2020). Розробка нового деревино-композиційного матеріалу з лісосічних відходів. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 4/1(106), 91-97 DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209130>

126. Pinchevska Olena, Ján Sedliáčik, Olexandra Zavorotnuk, Andriy Spirochkin, Ivan Hrabar, Rostislav Oliynyk. (2021). Durability of kitchen furniture made from medium density fibreboard (MDF). Acta Facultatis Xylogologiae ZvolenZvolen,

Technická univerzita vo Zvolene, 63(1): 119-130, DOI: <https://doi.org/10.17423/afx.2021.63.1.11>

127. Поберейко Б.П. Теоретичні основи розрахунку міцності деревини зі змінними потенціалами тепломасоперенесення: дис... докт. техн. наук: 05.23.06 / Поберейко Богдан Петрович. – Львів, 2011. – 320 с.

128. Подібка Т.І. Встановлення закономірностей впливу характеристик рейок на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 40-56. doi: <https://doi.org/10.36930/42214804>

129. Подібка Т.І. Дослідження формостійкості меблевих щитів із деревини сосни різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2020, вип. 46. – С. 108-120. doi: <https://doi.org/10.36930/42204613>

130. Подібка Т.І. Конструкції та технологічні аспекти меблевих щитів в нормативних документах // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2018, вип. 44. – С. 83-90. doi: <https://doi.org/10.36930/42184411>

131. Подібка Т.І. Розроблення математичних моделей прогнозування формостійкості меблевих щитів з використанням методу скінченних елементів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2021, вип. 47. – С. 73-91. doi: <https://doi.org/10.36930/42214809>

132. Подібка Т.І., Кійко О.А. Дослідження впливу поперечних розмірів букових рейок на формостійкість меблевих щитів // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2019, вип. 45. – С. 155-171. doi: <https://doi.org/10.36930/42194521>

133. Подібка Т.І. Математична модель розрахунку економічної ефективності процесу виготовлення бездефектних відрізків для формостійких меблевих щитів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 57-68. doi: <https://doi.org/10.36930/42214805>

134. Прокіп А.В. Еколого-економічна оцінка заміщення не відновлювальних енергоресурсів біологічно відновлювальними: монографія / А.В. Прокіп. – Львів: Львів: ЗУКЦ, 2010. – 212 с.
135. Прокіп А.В. Оцінка потенціалу деревинних відходів для енергетичного використання / А.В. Прокіп // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2009, вип. 19.4. – С. 97-103.
136. Соколовський Я.І. Деформативність деревини й деревостружкових плит зі змінними потенціалами тепломасоперенесення: дис... докт. техн. наук: 05.05.07 / Соколовський Ярослав Іванович. – Львів, 2001. – 381 с.
137. Соколовський Я.І. Дослідження плоского напружено-деформівного стану деревини у процесі сушіння / Я.І. Соколовський // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1997, вип. 8. – С. 161-168.
138. Соколовський Я.І. Математичне моделювання двовимірного в'язкопружного стану деревини у процесі сушіння / Я. І. Соколовський, М. В. Дендюк // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2008. – Вип. 7. – С. 17–26.
139. Соколовський Я.І. Моделювання деформаційно-релаксаційних процесів у висушуваній деревині методом скінченних елементів / Я.І. Соколовський, А. В. Бакалець // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2006. – № 565. –С. 51–57.
140. Соколовський Я.І. Прогнозування механічних властивостей деревостружкових плит / Я.І. Соколовський // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1997, вип. 6. – С. 64-73.
141. Соколовський Я.І. Технологічні напруження і деформації деревини у процесі сушіння / Я.І. Соколовський // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1999, вип. 9.3. – С. 168-176.
142. Соколовський Я.І., Криштапович В.І. Реологічна модель обмеженої повзучості деревини. Науковий вісник НЛТУ України. м. Львів, 2017, 27(3), 182–186. DOI: <https://doi.org/10.15421/40270341>

143. Sokolovskyy Y., Kshyvetsky B., Kindzera D., Somar H., Sokolovskyy I. Prediction of the strength of oakwood adhesive joints bonded with thermoplastic polyvinyl acetate adhesives. *Chem. Chem. Technol.*, 2023, Vol.17, No.1, pp. 110–117. <https://doi.org/10.23939/chcht17.01.110>

144. Sokolovskyy Ya., Sinkevych O. The use of cellular automata in the simulation of wood drying processes in a wood drying chamber of periodic action. *CDS*. 2022; Volume 4, Number 1 : pp. 17 – 31. <https://doi.org/10.23939/cds2022.01.017>

145. Sokolovskyy, Ya., Sinkevych, O., & Volianskyi, R. (2020). The study of cellular automata method when used in the problem of capillary-porous material thermal conductivity. *Advances in Intelligent Systems and Computing V: Springer Computer Science*, 1293, 714–729. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63270-0_49

146. Sokolovskyy Y., Shymanskyi V., Mokrytska O., Boretska I., Sinkevych O., Kryshtapovych V. Modeling of Heat Transfer and Deformation Processes in Biomaterials with Fractal Structure. *CEUR, IDDM 2021 Informatics & Data-Driven Medicine / Valencia, Spain, November 19-21, 2021*. p.205-212

147. Sokolovskyy Y., Holovata S., Pobereyko B., Holovatyy A. Mathematical Modeling of Boundary Stress State of Orthotropic Material. *Materials Science and Engineering (MSE)*, Volume 1016, 012001, 2021. DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1016/1/012001>

148. Sokolovskyy Y., Levkovych M., Mokrytska O., Kaspryshyn Y. and Yavorska N., "Investigation on the Processes of Deformation, Heat- and-Moisture Transfer in Media with the Properties of the Effects of "Memory" and Self-Similarity," 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine, 2020, pp. 382-385, doi: <https://doi.org/10.1109/DSMP47368.2020.9204137>

149. Sokolovskyy Y., Nechepurenko A., Herasymchuk O., Mokrytska O. and Samotii T., "Software and Algorithmic Aspects of Automating Finite-element Discretization," 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of

Designing and Application of CAD Systems (CADSM), Lviv, Ukraine, 2021, pp. 28-33, doi: <https://doi.org/10.1109/CADSM52681.2021.9385238>.

150. Sokolovsky Y., Nechepurenko A., Samotii T., Yatsyshyn S., Mokrytska O. and Yarkun V., "Software and Algorithmic Support for Finite Element Analysis of Spatial Heat-and-Moisture Transfer in Anisotropic Capillary-Porous Materials," 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine, 2020, pp. 316-320, doi: <https://doi.org/10.1109/DSMP47368.2020.9204175>

151. Сопушинський І.М. Анізотропія усихання і розбухання завилькуватої деревини бука лісового (*Fagus sylvatica* L.) / І.М. Сопушинський // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.3. – С. 103-108.

152. Сопушинський І.М. Вплив лісорослинних умов південно-західного мегасхилу Українських Карпат на властивості деревини бука лісового (*Fagus sylvatica* L.) : дис... канд. с.-г. наук: спец. 06.03.03 – «Лісознавство і лісівництво» / Сопушинський Іван Миколайович; УкрДЛТУ. – Львів, 2001. – 180 с.

153. Сопушинський І.М. Методичні аспекти структуроутворення декоративної деревини / І.М. Сопушинський // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.10. – С. 41-46.

154. Сопушинський І.М., Вінтонів І.С., Деревинознавство: Лаб. Практикум. Львів: Ліга-Прес, 2014. – 144 с.

155. Стецюк Н. Деякі аспекти втрат аналізу втрат сировини та використання відходів у деревообробній промисловості / Н. Стецюк // Соціально-економічні а проблеми держава. 2012. – вип.. 2(7) – С. 81-88.

156. Тарасович Ю.Я. Теорія пружності : напружено-деформаційний стан у точці. Плоска задача теорії пружності в декартових координатах. – Суми: Вид-во Сум ДУ, 2010. – 116 с.

157. ТУ 5366-001-77057246-2007. Клеєні щити із масивної деревини. Технічні умови. – [Чинні від 2007-10-30]. – 8 с.

158. ТУ 5366-002-47828137-2009. Щити клеєні меблеві. – [Чинні від 2009-07-30]. – 11 с.
159. ТУ 5367-001-01250041-99. Клеєні щити із масивної деревини. Технічні умови. – [Чинні від 1999-12-30]. – 10 с.
160. ТУ СТО 77511573-01-2006. Брус дерев'яний клеєний стіновий. Технічні умови.. – [Чинні від 2006-06-30]. – 21 с.
161. ТУ У 16.2-38695456-001:2017. Щити меблеві. Технічні умови.
162. ТУ У 16.2-43497598-001:2020. Щити меблеві. Технічні умови.
163. Туниця Ю.Ю. та ін. Лісотехнічний термінологічний словник. – Львів: Піраміда, 2014. 967 с.
164. Удовицька М. В., Тисовський Л. О., Маєвський В. О., Удовицький О. М. Дослідження формозміни пиломатеріалів для виробництва клеєних щитових конструкцій. Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 3. С. 85–88.
165. Ференц О.Б. Методика розрахунку витрат деревини при виготовленні паркетних дощок / О.Б. Ференц, С.О. Манзій, М.М. Копанський та ін. // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. пр. – Львів : Вид-во НЛТУУ, 2006. – С. 93-99.
166. Ференц О.Б. Нормативно-довідкові матеріали у виробництві столярно-будівельних виробів і паркету / О.Б. Ференц, І.В. Петришак, З.П. Копинець, Л.Я. Сорока. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2009 – 52 с.
167. Ференц О.Б., Максимів В.М.. Технологія столярних виробів / Навч. посібн. – Львів: НЛТУ України, 2011. – 400 с.
168. Хомик Н.І. Опір матеріалів і основи теорії пружності і пластичності / Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Н.А. Рубінець, – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2017. – 232 с.
169. Шваб'юк В.І. Опір матеріалів / В.І. Шваб'юк – К.: Знання, 2009. – 380 с.

**Список публікацій здобувача за темою дисертації
та відомості про апробацію результатів дисертації**

Статті у наукових фахових виданнях України

Подібка Т.І. Конструкції та технологічні аспекти меблевих щитів в нормативних документах // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2018, вип. 44. – С. 83-90. doi: <https://doi.org/10.36930/42184411> Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/7/6>

Подібка Т.І., Кійко О.А. Дослідження впливу поперечних розмірів букових рейок на формостійкість меблевих щитів // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2019, вип. 45. – С. 155-171. doi: <https://doi.org/10.36930/42194521> (Здобувачем особисто виконано експериментальні дослідження, їх аналіз та опис, висновки).

Посилання на статтю у фаховому збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1/1>

Подібка Т.І. Дослідження формостійкості меблевих щитів із деревини сосни різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2020, вип. 46. – С. 108-120. doi: <https://doi.org/10.36930/42204613> Посилання на статтю у фаховому збірнику (опублікований до 12 березня 2020 року): <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/5/4>

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації
та додатково відображають наукові результати дисертації*

Подібка Т.І. Розроблення математичних моделей прогнозування формостійкості меблевих щитів з використанням методу скінченних елементів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2021, вип. 47. – С. 73-91. doi: <https://doi.org/10.36930/42214809>

Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/9>

Подібка Т.І. Встановлення закономірностей впливу характеристик рейок на формостійкість меблевих щитів із деревини бука різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 41-57. doi: <https://doi.org/10.36930/42214804>

Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/10/9>

Подібка Т.І. Математична модель розрахунку економічної ефективності процесу виготовлення бездефектних відрізків для формостійких меблевих щитів. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2022, вип. 48. – С. 58-69. doi: <https://doi.org/10.36930/42214805>

Посилання на статтю у збірнику: <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/11/10>

А.1 – перший розділ додатку А

**Результати статистичної обробки експериментальних даних
коефіцієнтів розбухання деревини бука з різною кількістю зрощень**

Групи фактів	Коефіцієнти розбухання: тангенціальний (K _т), радіальний (K _р), поперечний (K _п)														
	Дощок, 0 усідлов			Дощок, 1 усідлов			Дощок, 2 усідлови			Дощок, 3 усідлови			Дощок, 4 усідлови		
	K _т	K _р	K _п	K _т	K _р	K _п	K _т	K _р	K _п	K _т	K _р	K _п	K _т	K _р	K _п
1	0,368	0,174	0,020	0,259	0,144	0,017	0,251	0,137	0,012	0,197	0,123	0,012	0,168	0,101	0,007
2	0,365	0,175	0,021	0,256	0,154	0,018	0,251	0,129	0,014	0,198	0,123	0,013	0,163	0,112	0,007
3	0,365	0,175	0,022	0,265	0,145	0,018	0,251	0,131	0,014	0,198	0,122	0,009	0,165	0,109	0,007
4	0,330	0,155	0,022	0,237	0,144	0,019	0,251	0,140	0,012	0,198	0,121	0,012	0,166	0,113	0,007
5	0,363	0,175	0,027	0,244	0,155	0,018	0,248	0,138	0,014	0,195	0,122	0,010	0,163	0,109	0,006
6	0,359	0,175	0,026	0,241	0,148	0,018	0,251	0,135	0,014	0,196	0,122	0,010	0,157	0,108	0,007
7	0,369	0,175	0,020	0,246	0,144	0,018	0,251	0,129	0,013	0,195	0,121	0,009	0,163	0,107	0,007
8	0,360	0,188	0,020	0,248	0,146	0,018	0,247	0,138	0,012	0,197	0,124	0,012	0,163	0,109	0,007
9	0,329	0,185	0,022	0,246	0,161	0,018	0,251	0,132	0,013	0,183	0,123	0,009	0,164	0,108	0,007
10	0,369	0,175	0,021	0,254	0,164	0,019	0,250	0,138	0,011	0,198	0,123	0,011	0,160	0,107	0,007
X_{med} середнє значення	0,329	0,155	0,0198	0,237	0,144	0,0175	0,247	0,129	0,0110	0,183	0,121	0,0087	0,157	0,101	0,0065
X_{max} максимальне значення	0,369	0,188	0,0268	0,265	0,164	0,0192	0,251	0,140	0,0141	0,198	0,124	0,0139	0,168	0,113	0,0074
X_{min} мінімальне значення (С.Т.)	0,358	0,175	0,022	0,250	0,151	0,018	0,250	0,135	0,013	0,195	0,122	0,011	0,163	0,108	0,007
s² дисперсія	0,000714	0,000074	0,000004	0,000078	0,000004	0,000004	0,000001	0,000017	0,000027	0,000021	0,000003	0,000001	0,000010	0,000010	0,000000
s середньоквадр. відх.	0,0133	0,0008	0,0018	0,0009	0,0002	0,0002	0,0001	0,0004	0,0004	0,0017	0,0003	0,0001	0,0018	0,0022	0,0003
V коефіцієнт варіації	4,17%	4,81%	11,34%	3,49%	1,40%	1,19%	0,48%	1,07%	10,97%	1,37%	0,91%	14,31%	1,19%	1,37%	0,49%
m помилка С.Т.	0,00485	0,00172	0,00075	0,00175	0,00145	0,00025	0,00048	0,00129	0,00040	0,00146	0,00075	0,00050	0,00182	0,00180	0,00011
F помилка Т.Т.	0,0120	0,0039	0,0016	0,0100	0,0114	0,0018	0,0034	0,0086	0,0034	0,0077	0,0029	0,0013	0,0061	0,0091	0,0018
Мод модальне	0,29840	0,17540	0,02140	0,27940	0,15140	0,01840	0,27540	0,13740	0,01140	0,19940	0,12340	0,01140	0,16340	0,10940	0,00740

А.2 – другий розділ додатку А

**Результати статистичної обробки експериментальних даних
модуля пружності при стиску деревини бука з різною кількістю зрощень**

Групи фактів	Модуль пружності при стиску (E): тангенціальний (E _т), радіальний (E _р), поперечний (E _п), МПа														
	Дощок, 0 усідлов			Дощок, 1 усідлов			Дощок, 2 усідлови			Дощок, 3 усідлови			Дощок, 4 усідлови		
	E _т	E _р	E _п	E _т	E _р	E _п	E _т	E _р	E _п	E _т	E _р	E _п	E _т	E _р	E _п
1	15834,0	1083,0	640,0	15552,0	1026,0	652,0	15690,0	999,0	638,0	15907,0	987,0	632,0	15407,0	900,0	633,0
2	16832,0	1092,0	658,0	15896,0	1011,0	661,0	15679,0	1111,0	643,0	15878,0	834,0	605,0	15409,0	945,0	632,0
3	10270,0	1053,0	640,0	15877,0	1069,0	644,0	15698,0	997,0	631,0	15117,0	984,0	651,0	15423,0	983,0	641,0
4	10075,0	1032,0	666,0	15897,0	1034,0	644,0	15727,0	989,0	637,0	15480,0	877,0	634,0	15449,0	971,0	630,0
5	15755,0	1020,0	673,0	15879,0	1012,0	657,0	15679,0	985,0	652,0	15157,0	973,0	651,0	15407,0	955,0	632,0
6	16135,0	1017,0	648,0	15890,0	1025,0	655,0	15688,0	998,0	631,0	15938,0	974,0	643,0	15455,0	985,0	627,0
7	16392,0	1048,0	669,0	15879,0	1003,0	655,0	15724,0	1011,0	635,0	15708,0	997,0	642,0	15441,0	970,0	633,0
8	15897,0	1055,0	666,0	15885,0	1051,0	653,0	15837,0	952,0	641,0	15607,0	990,0	634,0	15426,0	970,0	632,0
9	15745,0	1042,0	657,0	15874,0	1012,0	643,0	15727,0	934,0	657,0	15109,0	985,0	615,0	15452,0	993,0	631,0
10	15975,0	1015,0	658,0	15881,0	1007,0	671,0	15695,0	971,0	655,0	15507,0	993,0	615,0	15409,0	975,0	621,0
X_{med} середнє значення	15745,0	1015,0	646,0	15552,0	1003,0	621,0	15657,0	934,0	631,0	15209,0	834,0	615,0	15407,0	900,0	621,0
X_{max} максимальне значення	16832,0	1092,0	673,0	15897,0	1034,0	661,0	15727,0	1111,0	647,0	15938,0	997,0	651,0	15455,0	993,0	641,0
X_{min} мінімальне значення (С.Т.)	10091,0	1043,7	658,7	15851,0	1017,0	649,3	15694,4	994,7	642,0	15540,9	879,4	626,3	15427,8	964,5	631,2
s² дисперсія	10408,0	898,0	44,0	10090,0	118,0	78,0	740,0	223,7	93,0	10408,7	107,0	171,0	94,0	77,0	33,0
s середньоквадр. відх.	102,0	29,4	6,6	100,4	10,9	8,8	27,6	15,2	9,6	102,0	10,3	13,2	9,7	8,8	5,8
V коефіцієнт варіації	2,20%	2,93%	1,04%	0,64%	1,09%	1,39%	0,18%	1,64%	1,49%	2,30%	1,28%	2,16%	0,63%	1,29%	0,89%
m помилка С.Т.	104,08	9,34	3,49	101,11	3,40	3,79	8,71	14,91	3,60	103,11	7,60	4,14	9,18	8,67	3,39
F помилка Т.Т.	0,0048	0,0017	0,0007	0,0017	0,0014	0,0002	0,0004	0,0012	0,0004	0,0014	0,0007	0,0005	0,0018	0,0018	0,0001
Мод модальне	10091,0	1043,7	658,7	15851,0	1017,0	649,3	15694,4	994,7	642,0	15540,9	879,4	626,3	15427,8	964,5	631,2

А.3 – третій розділ додатку А

Результати статистичної обробки експериментальних даних модуля пружності при статичному згині з різною кількістю зрощень

Група зразків	Модуль пружності при статичному згині (E) для різних кутів нахилу до горизонтальної площини біля бази МПа														
	Довжина, 3 з'єднання					Довжина, 1 з'єднання					Довжина, 2 з'єднання				
	E _{120°}	E _{135°}	E _{150°}	E _{165°}	E _{180°}	E _{120°}	E _{135°}	E _{150°}	E _{165°}	E _{180°}	E _{120°}	E _{135°}	E _{150°}	E _{165°}	E _{180°}
1	15471,9	16489,0	18972,2	16067,6	16289,1	17167,9	16865,1	16666,8	17442,7	14613,2	18345,7	16634,5	14794,3	16116,9	18803,5
2	16803,1	16433,6	17083,2	15149,6	16918,1	17134,1	15615,2	16138,6	16710,2	14724,9	15661,3	16965,7	15887,3	16104,9	16646,7
3	16494,9	16408,1	18465,7	15036,3	16130,3	15701,5	15148,6	16397,2	16410,3	15763,7	15330,3	17316,7	15060,1	15877,2	16376,3
4	16545,4	16291,3	16644,2	14982,0	16396,9	17486,6	14938,8	16409,2	16208,3	15455,7	15644,8	17454,9	13122,0	15309,7	17347,1
5	16412,6	16487,5	18761,9	16224,7	16408,9	16919,9	15761,7	16317,8	16729,8	15756,2	18345,5	17044,7	14759,6	15952,1	16654,6
6	16623,9	16435,1	17239,7	15921,2	15357,6	17316,4	15336,6	16367,2	17397,3	14881,9	16284,3	16775,8	14891,0	16167,8	16864,0
7	15711,8	16929,2	17974,1	16117,5	16378,9	17469,9	15886,7	16389,7	18246,0	14578,4	15811,0	16854,8	14762,6	16667,4	17839,4
8	15434,1	17092,5	16846,3	15128,9	16408,9	17944,5	15059,6	15866,4	18241,5	14760,0	16386,9	16695,3	14885,4	16089,9	16875,1
9	15265,9	16556,4	16709,5	15299,1	16473,3	17535,2	15121,5	15329,4	16420,8	14684,1	16112,1	16863,9	15866,1	15646,7	16646,7
10	15514,2	16590,8	16913,1	16967,6	16269,6	18148,5	14941,8	15643,9	16821,7	15424,0	15968,3	17081,2	15026,9	15432,5	16903,5
E_{ср} (середнє значення)	15265,0	16291,3	16644,2	14982,0	15357,6	15701,5	14938,8	15329,4	16208,3	14578,4	15330,3	16634,5	14759,6	15309,7	16376,3
E_{ср} (середнє значення СД)	16007,9	16571,3	17381,0	15599,5	16304,1	17196,4	15287,6	16130,6	17062,9	15061,6	15960,8	16968,8	14945,3	15877,3	16903,5
σ (дисперсія)	41646,6	40951,0	38478,6	36867,2	35796,6	40175,9	40001,9	40703,4	54236,7	31084,0	10397,2	40367,7	36598,8	9986,1	37607,6
σ (стандартне відхилення)	204,10	202,36	196,13	189,65	189,70	200,44	200,00	201,75	232,80	176,28	101,96	200,92	191,54	99,93	193,98
ν (коефіцієнт варіації)	2,74%	2,59%	2,47%	2,34%	2,32%	2,80%	2,82%	2,85%	3,46%	2,46%	0,67%	2,46%	1,36%	0,64%	2,44%
σ (максимум СД)	38,40	38,40	34,04	34,74	34,74	38,40	38,40	38,40	46,08	34,08	34,08	40,32	34,08	34,08	38,40
σ (мінімум СД)	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	8,41	6,81	6,81	8,41	6,81	6,81	6,81
E_{ср} (середнє значення)	15265,0	16291,3	16644,2	14982,0	15357,6	15701,5	14938,8	15329,4	16208,3	14578,4	15330,3	16634,5	14759,6	15309,7	16376,3

А.4 – четвертий розділ додатку А

Результати статистичної обробки експериментальних даних модуля зсуву з різною кількістю зрощень

Група зразків	Модуль жорсткості (G) різноманітних поєднань (G ₁), різноманітних поєднань (G ₂), різноманітних поєднань (G ₃) МПа														
	Довжина, 3 з'єднання					Довжина, 1 з'єднання					Довжина, 2 з'єднання				
	G ₁	G ₂	G ₃	G ₁	G ₂	G ₃	G ₁	G ₂	G ₃	G ₁	G ₂	G ₃	G ₁	G ₂	G ₃
1	2412,0	1656,0	742,1	2397,7	1628,5	753,3	2418,5	1562,0	711,0	2391,2	1528,5	675,6	2393,7	1496,5	667,0
2	2546,7	1654,4	754,9	2385,9	1607,7	763,5	2335,6	1563,6	708,5	2349,8	1512,5	679,3	2321,2	1480,5	639,5
3	2306,9	1564,0	709,0	2436,7	1583,7	696,9	2332,7	1546,0	693,1	2366,1	1501,3	673,1	2227,9	1456,5	636,9
4	2363,2	1580,8	739,6	2431,8	1527,7	707,1	2420,0	1491,5	680,3	2283,2	1493,3	703,8	2189,4	1456,5	633,1
5	2481,6	1524,8	789,6	2374,0	1570,9	707,1	2388,9	1528,3	670,0	2246,2	1483,7	724,3	2290,1	1421,3	658,7
6	2536,3	1670,4	747,3	2368,1	1585,3	720,0	2345,0	1566,8	690,5	2256,6	1480,5	683,6	2309,4	1467,7	654,8
7	2521,5	1622,4	761,9	2363,7	1586,9	744,3	2341,6	1592,4	714,9	2364,6	1488,5	682,3	2230,9	1482,1	629,2
8	2441,6	1584,0	766,5	2462,9	1598,1	728,9	2325,5	1581,2	707,2	2342,4	1555,7	679,7	2216,1	1410,1	626,7
9	2367,6	1564,8	733,2	2440,5	1601,3	702,0	2350,4	1507,5	698,2	2268,4	1456,5	734,6	2276,8	1380,3	643,9
10	2378,4	1577,6	776,7	2382,9	1578,9	714,8	2366,7	1552,4	682,8	2333,5	1464,5	678,2	2223,5	1400,5	653,5
середнє значення	2306,9	1524,8	739,6	2363,7	1527,7	696,9	2325,5	1491,5	670,0	2246,2	1456,5	679,7	2189,4	1400,5	626,7
середнє значення (СД)	2546,7	1670,4	776,7	2462,9	1628,5	763,5	2420,0	1592,4	714,9	2391,2	1555,7	734,6	2383,7	1509,3	667,6
σ (дисперсія)	2435,7	1600,0	752,4	2405,1	1586,9	723,8	2362,3	1549,2	695,6	2320,2	1496,5	679,5	2267,9	1458,1	644,6
σ (стандартне відхилення)	6903,8	2212,5	269,1	1317,8	783,5	528,6	1235,6	1808,5	222,1	2693,2	881,3	1105,9	3860,4	1361,7	187,6
ν (коефіцієнт варіації)	83,1	48,1	16,1	36,3	26,5	22,9	35,2	31,8	14,9	51,9	29,7	33,3	62,1	36,9	13,7
ν (максимум СД)	3,41%	3,01%	2,14%	1,51%	1,67%	3,17%	1,49%	2,05%	2,14%	1,98%	4,89%	2,74%	2,53%	2,12%	
ν (мінімум СД)	26,28	15,21	5,10	11,48	8,39	7,26	11,12	10,04	4,71	16,41	9,39	10,52	19,65	11,67	4,33
σ (середнє значення)	0,0108	0,0095	0,0068	0,0048	0,0053	0,01	0,0047	0,0065	0,0068	0,0071	0,0063	0,0135	0,0087	0,008	0,0067
σ (максимум СД)	382486,34,2	14866,37,1	781,296,6,1	2489,33,1	40386,02,6,39	7236,07,38	2382,28,11	22849,18,0,0,0	895,04,4,75	2738,2,14,6,0	1496,02,8,39	679,4,75	16,52,23,6,75	14,87,14,9,11,1,0,7	668,39,5,4,32

А.5.1 – п’ятий розділ перший підрозділ додатку А

**Результати статистичної обробки експериментальних даних
коєфіцієнтів поперечних деформацій з різною кількістю зрошень**

Група зрошень	Коєфіцієнти поперечних деформацій (α) для різних кутів нахилу стовпа річки відносно до напрямку бурення														
	Нахил, 0 градусів			Нахил, 1 градусів			Нахил, 2 градусів			Нахил, 3 градусів			Нахил, 4 градусів		
	Мод.м.	Мод.ст.	Мод.ст.	Мод.м.	Мод.ст.	Мод.ст.	Мод.м.	Мод.ст.	Мод.ст.	Мод.м.	Мод.ст.	Мод.ст.	Мод.м.	Мод.ст.	Мод.ст.
1	0,4291	0,3612	0,0248	0,4110	0,3383	0,0229	0,4040	0,3393	0,0272	0,4046	0,3302	0,0271	0,3975	0,3313	0,0282
2	0,4142	0,3542	0,0244	0,4037	0,3501	0,0262	0,4017	0,3417	0,0262	0,4027	0,3422	0,0271	0,4020	0,3298	0,0204
3	0,4031	0,3479	0,0251	0,4029	0,3498	0,0241	0,4078	0,3309	0,0240	0,3946	0,3467	0,0270	0,3940	0,3242	0,0206
4	0,3950	0,3417	0,0259	0,4039	0,3506	0,0288	0,4059	0,3380	0,0248	0,4046	0,3392	0,0266	0,3988	0,3301	0,0286
5	0,3986	0,3514	0,0261	0,4110	0,3464	0,0233	0,4053	0,3313	0,0281	0,4058	0,3332	0,0263	0,3975	0,3421	0,0279
6	0,4080	0,3440	0,0262	0,4037	0,3309	0,0266	0,4025	0,3417	0,0263	0,3923	0,3299	0,0265	0,4035	0,3316	0,0203
7	0,4182	0,3497	0,0241	0,3923	0,3464	0,0262	0,4031	0,3418	0,0259	0,3999	0,3314	0,0266	0,3924	0,3313	0,0299
8	0,4071	0,3484	0,0248	0,4079	0,3417	0,0249	0,4028	0,3303	0,0261	0,4027	0,3305	0,0276	0,3975	0,3313	0,0268
9	0,4256	0,3533	0,0239	0,4182	0,3470	0,0248	0,3946	0,3581	0,0262	0,3946	0,3387	0,0266	0,3943	0,3391	0,0267
10	0,4215	0,3497	0,0273	0,4071	0,3387	0,0297	0,4017	0,3393	0,0274	0,3996	0,3318	0,0253	0,3979	0,3317	0,0263
X_{mod}	0,3950	0,3417	0,0239	0,3923	0,3389	0,0229	0,3946	0,3303	0,0248	0,3923	0,3299	0,0253	0,3924	0,3242	0,0263
X_{mod}	0,4256	0,3612	0,0272	0,4182	0,3506	0,0297	0,4078	0,3581	0,0281	0,4046	0,3467	0,0276	0,4035	0,3421	0,0286
X_{mod}	0,4116	0,3498	0,0253	0,4062	0,3440	0,0258	0,4027	0,3393	0,0263	0,3999	0,3354	0,0267	0,3975	0,3322	0,0279
s²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
s	0,011	0,005	0,001	0,007	0,004	0,002	0,003	0,008	0,001	0,005	0,006	0,001	0,003	0,005	0,001
V	2,66%	1,56%	4,39%	1,67%	1,87%	8,62%	0,85%	2,38%	3,94%	1,14%	1,76%	2,34%	0,87%	1,50%	3,15%
m	0,003	0,002	0,000	0,002	0,002	0,001	0,001	0,003	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,002	0,000
P	0,0084	0,0049	0,0133	0,0053	0,0059	0,0273	0,0027	0,0075	0,0125	0,0056	0,0056	0,0074	0,0027	0,0047	0,0099
Крит	0,011640	0,009640	0,025340	0,008240	0,004640	0,003780	0,002540	0,008340	0,002840	0,009640	0,009640	0,002740	0,007640	0,002240	0,02740

А.5.2 – п’ятий розділ другий підрозділ додатку А

**Результати статистичної обробки експериментальних даних
коєфіцієнтів поперечних деформацій з різною кількістю зрошень**

Група зрошень	Коєфіцієнти поперечних деформацій (α) для різних кутів нахилу стовпа річки відносно до напрямку бурення														
	Нахил, 0 градусів			Нахил, 1 градусів			Нахил, 2 градусів			Нахил, 3 градусів			Нахил, 4 градусів		
	Мод.м.	Мод.ст.	Мод.ст.	Мод.м.	Мод.ст.	Мод.ст.	Мод.м.	Мод.ст.	Мод.ст.	Мод.м.	Мод.ст.	Мод.ст.	Мод.м.	Мод.ст.	Мод.ст.
1	0,4678	0,0214	0,2855	0,4411	0,0197	0,2782	0,4562	0,0188	0,2753	0,4378	0,0179	0,2783	0,4277	0,0179	0,2693
2	0,4428	0,0218	0,2823	0,4582	0,0189	0,2783	0,4445	0,0189	0,2783	0,4239	0,0178	0,2695	0,4108	0,0177	0,2715
3	0,4033	0,0219	0,2867	0,4445	0,0187	0,2695	0,4328	0,0187	0,2695	0,4277	0,0185	0,2724	0,4235	0,0159	0,2714
4	0,4795	0,0214	0,2831	0,4635	0,0185	0,2766	0,4239	0,0185	0,2713	0,4340	0,0187	0,2707	0,4285	0,0174	0,2699
5	0,4777	0,0217	0,2837	0,4419	0,0203	0,2588	0,4277	0,0172	0,2642	0,4333	0,0185	0,2799	0,4273	0,0168	0,2703
6	0,4078	0,0207	0,2823	0,4333	0,0195	0,2817	0,4378	0,0161	0,2695	0,4247	0,0178	0,2655	0,4168	0,0172	0,2714
7	0,4488	0,0203	0,2782	0,4582	0,0199	0,2807	0,4408	0,0185	0,2766	0,4292	0,0159	0,2702	0,4258	0,0161	0,2755
8	0,4769	0,0197	0,2783	0,4445	0,0205	0,2799	0,4369	0,0195	0,2762	0,4329	0,0174	0,2791	0,4275	0,0158	0,2683
9	0,4429	0,0199	0,2695	0,4688	0,0198	0,2855	0,4347	0,0199	0,2799	0,4235	0,0172	0,2624	0,4297	0,0173	0,2693
10	0,4833	0,0214	0,2884	0,4669	0,0189	0,2823	0,4523	0,0167	0,2805	0,4369	0,0161	0,2699	0,4292	0,0165	0,2766
X_{mod}	0,4428	0,0197	0,2695	0,4333	0,0185	0,2588	0,4239	0,0161	0,2642	0,4235	0,0159	0,2624	0,4168	0,0158	0,2683
X_{mod}	0,4878	0,0219	0,2884	0,4688	0,0205	0,2855	0,4562	0,0199	0,2805	0,4378	0,0187	0,2799	0,4297	0,0177	0,2766
X_{mod}	0,4691	0,0210	0,2828	0,4517	0,0195	0,2772	0,4407	0,0185	0,2742	0,4305	0,0174	0,2724	0,4256	0,0168	0,2714
s²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
s	0,018	0,001	0,005	0,012	0,001	0,008	0,011	0,001	0,005	0,005	0,001	0,006	0,004	0,001	0,003
V	3,75%	3,85%	1,92%	2,72%	3,50%	2,78%	2,54%	0,67%	1,93%	1,25%	5,46%	2,17%	1,00%	4,19%	0,98%
m	0,006	0,000	0,002	0,004	0,000	0,002	0,004	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001
P	0,0119	0,0122	0,0061	0,0086	0,0113	0,0088	0,008	0,0211	0,0061	0,004	0,0173	0,0069	0,0032	0,0152	0,0031
Крит	0,0091040	0,01040	0,0081040	0,0091040	0,0099040	0,0077040	0,0087040	0,0181040	0,0074040	0,0099040	0,0074040	0,0077040	0,0087040	0,0087040	0,0074040

А.6 – шостий розділ додатку А

Результати статистичної обробки експериментальних даних міцності при статичному згині з різною кількістю зрошень

Група зразків	Міцність при статичному згині (σ) для ламелі з різною кількістю зрошень (кількість зрошень, МПа)															
	Ламель, 2 зрошення				Ламель, 1 зродження				Ламель, 2 зродження				Ламель, 3 зродження			
	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє
1	98,02	101,74	104,50	99,02	100,01	100,49	94,24	91,30	97,55	91,71	98,48	94,38	85,81	86,66	92,01	
2	102,04	98,68	102,12	92,24	96,31	100,43	92,32	94,94	89,89	87,01	91,24	93,20	86,63	86,36	89,01	
3	96,97	98,41	103,27	98,11	97,12	101,72	89,27	89,44	96,97	80,61	87,58	80,63	84,67	89,97	87,18	
4	96,32	100,28	105,48	96,93	94,32	96,81	89,85	88,49	93,54	83,43	88,90	92,18	82,04	88,87	92,41	
5	101,55	104,32	106,46	88,89	91,81	95,50	86,35	91,11	94,70	92,29	90,97	90,22	89,74	88,10	92,11	
6	93,56	100,03	107,24	87,96	91,94	101,79	89,84	89,16	92,23	84,51	85,93	88,32	90,98	84,15	87,77	
7	94,43	99,29	100,80	90,38	93,87	97,92	95,56	95,07	93,20	85,56	93,09	93,08	87,57	84,66	87,19	
8	93,69	99,83	103,20	92,29	94,12	96,58	91,10	89,91	91,71	91,74	89,95	90,55	88,62	90,12	91,06	
9	100,79	100,73	105,39	90,70	100,08	99,87	87,74	81,30	95,81	88,98	90,07	92,76	87,10	87,59	89,87	
10	91,88	94,79	105,58	95,43	96,56	100,68	86,24	97,16	98,40	89,09	84,61	93,44	85,46	87,23	89,16	
$\Sigma_{\text{середнє}}$	91,88	94,79	100,80	87,96	91,81	95,50	86,24	88,49	91,71	84,51	88,32	82,04	84,15	87,18		
$\Sigma_{\text{середнє}}$	102,04	104,32	107,24	99,02	100,08	101,79	95,56	97,16	98,40	92,29	93,09	94,38	90,98	90,12	92,41	
$\Sigma_{\text{середнє}}$	96,92	99,83	104,40	93,20	95,43	99,18	90,25	91,79	95,01	88,29	89,08	91,88	86,86	87,37	89,79	
σ	13,11	6,19	4,88	15,46	8,43	5,20	9,77	8,60	5,25	8,33	6,52	3,50	6,67	4,04	4,16	
σ	3,62	2,49	2,82	3,93	2,90	2,38	3,12	2,93	2,79	2,89	2,58	1,87	2,58	2,01	2,04	
ν	3,74%	2,49%	1,93%	4,22%	3,64%	2,30%	3,46%	3,19%	2,41%	3,27%	2,87%	2,04%	2,97%	2,30%	2,27%	
Δ	1,14	0,79	0,64	1,24	0,92	0,72	0,99	0,93	0,72	0,91	0,81	0,59	0,82	0,64	0,65	
Δ	0,018	0,0079	0,0061	0,0023	0,0094	0,0073	0,0097	0,0104	0,0076	0,0103	0,0091	0,0064	0,0094	0,0073	0,0072	
$\Sigma_{\text{середнє}}$	90,914,14	99,834,79	104,404,44	93,214,14	95,434,01	99,184,71	90,254,09	91,794,93	95,014,71	88,194,91	89,084,02	91,884,49	86,864,03	87,374,44	89,794,02	

А.7 – сьомий розділ додатку А

Результати розрахунку коефіцієнтів зрощування K_3 шляхом експериментального визначення модулів пружності E_3 різновидів зрощених ламелей із деревини бука. Оскільки K_3 характеризує динаміку зміни модуля пружності E , а в матриці податливості представлений оберненою величиною, тому в математичні моделі поданий як $K_3=1/E_3$

Бук	Розміри ламелі, мм			Збільш. навант., 30-80 Н	Зміна прогину Δf	Мод. пружн. стат. зг.	1/E
0	24	36	1000	50	0,222	17620,0	1,00
1	24	36	1000	50	0,211	18538,6	0,95
2	24	36	1000	50	0,202	19364,5	0,91
3	24	36	1000	50	0,195	20059,7	0,88
4	24	36	1000	50	0,191	20479,8	0,86

Б.1.1 – перший розділ перший підрозділ додатку Б.1
Результати статистичної обробки експериментальних даних
визначення формостійкості МЩ із деревини сосни залежно від укладання
тангентальних та радіальних рейок різних ширин в конструкцію щита

1. Коефіцієнти рівняння регресії:						
b_0	0,171	b_2	0,1071	b_{22}	0,0109	
b_1	0,072	b_{11}	0,0198	b_{12}	0,0422	
2. Обчислення суми квадратів відхилень						
№ п/п	X_1	X_2	Y_c	S^2_j	Y_c^p	$(Y_c - Y_c^p)^2$
1	20	20	0,05460	0,000019	0,06383	0,000085
2	80	20	0,12440	0,000013	0,12430	0,000000
3	20	80	0,19360	0,000011	0,19370	0,000000
4	80	80	0,43220	0,000012	0,42297	0,000085
5	20	50	0,12720	0,000019	0,11787	0,000087
6	80	50	0,25340	0,000017	0,26273	0,000087
7	50	20	0,08340	0,000008	0,07427	0,000083
8	50	80	0,27940	0,000024	0,28853	0,000083
Сума квадратів відхилень						0,000512
3. Перевірка однорідності дисперсії вибірок						
Найбільша з дисперсій вибірок:				$S^2_{\max} =$	0,000024	
Сума всіх дисперсій вибірок:				$\Sigma S^2_j =$	0,000124	
Розрахункове значення критерія Кохрена:				$G_{\text{розр}} =$	0,1924	
Рівень значущості:				$q =$	0,05	
Кількість ступенів свободи:				$f =$	7	
Табличне значення критерія Кохрена:				$G_{\text{табл}} =$	0,460	
Оскільки $G_{\text{розр}} < G_{\text{табл}}$, то дисперсії вибірок однорідні.						
4. Визначення дисперсії відтворюваності						
Кількість дослідів:				$N =$	8,0000	
Кількість спостережень у досліді:				$n =$	5,0000	
Дисперсія відтворюваності:				$S^2_y =$	0,0000155	
5. Визначення дисперсії адекватності						
Кількість оцінюваних коефіцієнтів:				$p =$	6,0000	
Дисперсія адекватності:				$S^2_{\text{ад}} =$	0,0000853	
6. Перевірка адекватності рівняння регресії						
Розрахункове значення критерія Фішера:				$F_{\text{розр}} =$	5,51427	
Рівень значущості:				$q =$	0,05	
Кількість ступенів свободи $S^2_{\text{ад}}$:				$f_{\text{ад}} =$	2	
Кількість ступенів свободи S^2_y :				$f_y =$	32	
Табличне значення критерія Фішера:				$F_{\text{табл}} =$	19,46	
Оскільки $F_{\text{розр}} < F_{\text{табл}}$, то рівняння регресії адекватне.						

Б.1.2 – перший розділ другий підрозділ додатку Б.1
**Статистичні показники формостійкості меблевих щитів із заготовок
 деревини сосни від їх геометричних характеристик**

Результати експериментальних випробувань на вплив ширин брусків на показники формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини сосни представлено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Розрахунок середніх значень та дисперсії

№ дослід	Результати u_{ij} відхилення від площинності для різних конструкцій меблевих щитів, мм					Середнє значення в j -ій вибірці	Дисперсія в j -ій вибірці
	u_{1j}	u_{2j}	u_{3j}	u_{4j}	u_{5j}		
У	2	3	4	5	6	7	8
1.	0,059	0,048	0,055	0,058	0,053	0,0546	0,000019
2.	0,121	0,127	0,128	0,120	0,126	0,1244	0,000013
3.	0,199	0,192	0,190	0,193	0,194	0,1936	0,000011
4.	0,433	0,437	0,428	0,430	0,433	0,4322	0,000012
5.	0,124	0,122	0,128	0,129	0,133	0,1272	0,000019
6.	0,255	0,251	0,259	0,248	0,254	0,2534	0,000017
7.	0,083	0,088	0,081	0,084	0,081	0,0834	0,000008
8.	0,278	0,276	0,285	0,274	0,284	0,2794	0,000024
						1,5482	0,000124

Дисперсію відтворюваності:
$$S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N}; \quad (4.1)$$

Підставивши дані у формулу 4.1. отримаємо значення дисперсії відтворюваності: $S_y^2 = 0,000124/8=0,0000155$.

Отримані коефіцієнти та їх значимість. Для визначення коефіцієнтів рівняння було використано відомі методики статистичної обробки даних і розраховано коефіцієнти рівняння регресії (табл. 4.2).

Таблиця 4.2.

Розрахунок коефіцієнтів регресії, перевірка на значущість коефіцієнтів рівняння регресії та визначення їх достовірних інтервалів

Коефіцієнт	Цифрова величина коефіцієнта	$t(q, f_y)$ $S\{b_i\}$	Висновок	Межі достовірного інтервалу	
				$b_i - t_{\text{табл}} S\{b_i\}$	$b_i + t_{\text{табл}} S\{b_i\}$
b_0	0,171	0,0040	знач.	0,166	0,175
b_1	0,072	0,0015	знач.	0,071	0,074
b_2	0,107	0,0015	знач.	0,106	0,109
b_{11}	0,020	0,0031	знач.	0,017	0,023
b_{22}	0,011	0,0031	знач.	0,008	0,014
b_{12}	0,042	0,0018	знач.	0,040	0,044

Розрахунок дисперсії адекватності за формулою:

$$\sum_{j=1}^8 (\bar{y}_j - y_j^p)^2 \quad (4.2)$$

Таблиця 4.3.

Розрахунок дисперсії адекватності

№ дослідю	\bar{y}_j	y_j^p	$(\bar{y}_j - y_j^p)^2$
1	2	3	4
1.	0,055	0,064	0,000085
2.	0,124	0,124	0,000000
3.	0,194	0,194	0,000000
4.	0,432	0,423	0,000085
5.	0,127	0,118	0,000087
6.	0,253	0,263	0,000087
7.	0,083	0,074	0,000083
8.	0,279	0,289	0,000083
Сума			0,000512

Дисперсію адекватності:
$$S_{ad}^2 = \frac{n}{f_{ad}} \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - y_j^p)^2 \quad (4.3)$$

Підставивши дані у формулу 4.2 отримаємо значення дисперсії адекватності:

$$S_{ad}^2 = 5/(8-7) * 0,000512 = 0,002557933.$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{розр.} = \frac{S_{більша}^2}{S_{менша}^2} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} \quad (4.4)$$

Підставивши дані у формулу 4.4 отримаємо розрахункове значення критерію Фішера $F_{розр.}$:

$$F_{розр.} = 0,002557933 / 0,000155 = 165,43.$$

Табличне значення критерію Фішера $F_{табл.}$, яке залежить від рівня значимості $q=5\%$, числа ступенів вільності дисперсії адекватності $f_{ad}=8-7=1$ та числа належних оцінок дисперсії відтворюваності $f_y=8*(5-1)=32$: $F_{табл.}=250$.

Оскільки, $165,43 < 250$ ($F_{розр.} < F_{табл.}$), тоді регресійна модель адекватна.

Б.2.1 – другий розділ перший підрозділ додатку Б.2
Результати статистичної обробки експериментальних даних
визначення формостійкості МЩ із деревини бука залежно від товщини та
ширини рейок , тобто співвідношення поперечних розмірів

1. Коефіцієнти рівняння регресії:						
b_0	0,178	b_2	0,1235	b_{22}	0,0290	
b_1	-0,094	b_{11}	0,0235	b_{12}	-0,0537	
2. Обчислення суми квадратів відхилень						
№ п/п	X_1	X_2	Y_c	S^2_{ij}	Y_c^p	$(Y_c - Y_c^p)^2$
1	16	36	0,14500	0,000022	0,14733	0,000005
2	32	36	0,02920	0,000027	0,06683	0,001416
3	16	84	0,53920	0,000438	0,50157	0,001416
4	32	84	0,20880	0,000565	0,20647	0,000005
5	16	60	0,26020	0,000245	0,29550	0,001246
6	32	60	0,14300	0,000170	0,10770	0,001246
7	24	36	0,12360	0,000050	0,08363	0,001597
8	24	84	0,29060	0,000161	0,33057	0,001597
Сума квадратів відхилень						0,008530
3. Перевірка однорідності дисперсії вибірок						
Найбільша з дисперсій вибірок:				$S^2_{max} =$	0,000565	
Сума всіх дисперсій вибірок:				$\Sigma S^2_{ij} =$	0,001678	
Розрахункове значення критерія Кохрена:				$G_{розр} =$	0,3368	
Рівень значущості:				$q =$	0,05	
Кількість ступенів свободи:				$f =$	7	
Табличне значення критерія Кохрена:				$G_{табл} =$	0,540	
Оскільки $G_{розр} < G_{табл}$, то дисперсії вибірок однорідні.						
4. Визначення дисперсії відтворюваності						
Кількість дослідів:				$N =$	8,0000	
Кількість спостережень у досліді:				$n =$	5,0000	
Дисперсія відтворюваності:				$S^2_y =$	0,0002097	
5. Визначення дисперсії адекватності						
Кількість оцінюваних коефіцієнтів:				$p =$	6,0000	
Дисперсія адекватності:				$S^2_{ад} =$	0,0014217	
6. Перевірка адекватності рівняння регресії						
Розрахункове значення критерія Фішера:				$F_{розр} =$	6,77853	
Рівень значущості:				$q =$	0,05	
Кількість ступенів свободи $S^2_{ад}$:				$f_{ад} =$	2	
Кількість ступенів свободи S^2_y :				$f_y =$	32	
Табличне значення критерія Фішера:				$F_{табл} =$	19,46	
Оскільки $F_{розр} < F_{табл}$, то рівняння регресії адекватне.						

Б.2.2 – другий розділ другий підрозділ додатку Б.2
**Статистичні показники формостійкості меблевих щитів із заготовок
 деревини бука звичайного від їх геометричних характеристик**

Результати експериментальних випробувань на вплив поперечних розмірів рейок на показники формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини бука звичайного представлено у табл. 4.6.

$$\text{Дисперсію відтворюваності: } S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N}; \quad (4.6)$$

Підставивши дані у формулу 4.6 отримаємо значення дисперсії відтворюваності:

$$S_y^2 = 0,001678/8=0,0002097.$$

Отримані коефіцієнти та їх значимість. Для визначення коефіцієнтів рівняння було використано відомі методики статистичної обробки даних і розраховано коефіцієнти рівняння регресії (табл. 4.7).

Таблиця 4.6.

Розрахунок середніх значень та дисперсії

№ досліджу	Результати u_{ij} відхилення від площинності для різних конструкцій меблевих щитів, мм					Середнє значення в j -ій вибірці	Дисперсія в j -ій вибірці
	u_{1j}	u_{2j}	u_{3j}	u_{4j}	u_{5j}		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	0,142	0,151	0,141	0,149	0,142	0,145	0,000022
2.	0,038	0,028	0,029	0,025	0,026	0,029	0,000027
3.	0,508	0,545	0,529	0,555	0,559	0,539	0,000438
4.	0,201	0,231	0,222	0,219	0,171	0,209	0,000565
5.	0,281	0,259	0,263	0,237	0,261	0,260	0,000245
6.	0,130	0,152	0,156	0,128	0,149	0,143	0,000170
7.	0,133	0,129	0,121	0,118	0,117	0,124	0,000050
8.	0,308	0,290	0,273	0,287	0,295	0,291	0,000161
Сума							0,001678

Таблиця 4.7

Розрахунок коефіцієнтів регресії, перевірка на значущість коефіцієнтів рівняння регресії та визначення їх достовірних інтервалів

Коефіцієнт	Цифрова величина коефіцієнта	$t(q, f_y)$ $S\{b_i\}$	Висновок	Межі достовірного інтервалу	
				$b_i - t_{\text{табл}} S\{b_i\}$	$b_i + t_{\text{табл}} S\{b_i\}$
b_0	0,178	0,015	знач.	0,163	0,193
b_1	-0,094	0,005	знач.	-0,099	-0,089
b_2	0,123	0,005	знач.	0,118	0,129
b_{11}	0,023	0,011	знач.	0,012	0,035
b_{22}	0,029	0,011	знач.	0,018	0,040
b_{12}	-0,054	0,007	знач.	-0,060	-0,047

Розрахунок дисперсії адекватності за формулою:

$$\sum_{j=1}^8 (\bar{y}_j - y_j^p)^2 \quad (4.7)$$

Таблиця 4.8

Розрахунок дисперсії адекватності

№ дослідю	\bar{y}_j	y_j^p	$(\bar{y}_j - y_j^p)^2$
1	2	3	4
1.	0,145	0,147	0,00001
2.	0,029	0,067	0,00142
3.	0,539	0,502	0,00142
4.	0,209	0,206	0,00001
5.	0,260	0,296	0,00125
6.	0,143	0,108	0,00125
7.	0,124	0,084	0,00160
8.	0,291	0,331	0,00160
Сума			0,00853

Дисперсію адекватності:
$$S_{ад}^2 = \frac{n}{f_{ад}} \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - y_j^p)^2 \quad (4.8)$$

Підставивши дані у формулу 4.8 отримаємо значення дисперсії адекватності:

$$S_{ад}^2 = 5/(8-7) * 0,000853 = 0,042651367$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{рооз.} = \frac{S_{більша}^2}{S_{менша}^2} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} \quad (4.9)$$

Підставивши дані у формулу 4.9 отримаємо розрахункове значення критерію Фішера $F_{рооз.}$:

$$F_{рооз.} = 0,042651367 / 0,0002097 = 203,36$$

Табличне значення критерію Фішера $F_{табл.}$, яке залежить від рівня значимості $q=5\%$, числа ступенів вільності дисперсії адекватності $f_{ад}=8-7=1$ та числа належних оцінок дисперсії відтворюваності $f_y=8*(5-1)=32$: $F_{табл.}=250$.

Оскільки, $203,36 < 250$ ($F_{рооз.} < F_{табл.}$), тоді регресійна модель адекватна.

Б.3.1 – третій розділ перший підрозділ додатку Б.3

**Результати статистичної обробки експериментальних даних
визначення формостійкості МЩ із деревини бука залежно від величини
кута між дотичною річного кільця в ламелі до площини та ширини рейок**

1. Коефіцієнти рівняння регресії:						
b_0	0,240	b_2	0,1414	b_{22}	0,0677	
b_1	-0,152	b_{11}	0,0416	b_{12}	-0,0546	
2. Обчислення суми квадратів відхилень						
№ п/п	X_1	X_2	Y_c	S^2_{ij}	Y_c^p	$(Y_c - Y_c^p)^2$
1	(0-30)о	36	0,30780	0,000079	0,30583	0,000004
2	(61-90)о	36	0,08580	0,000031	0,11057	0,000613
3	(0-30)о	84	0,72260	0,000064	0,69783	0,000613
4	(61-90)о	84	0,28220	0,000091	0,28417	0,000004
5	(0-30)о	60	0,40740	0,000091	0,43413	0,000715
6	(61-90)о	60	0,15640	0,000218	0,12967	0,000715
7	(31-60)о	36	0,18940	0,000047	0,16660	0,000520
8	(31-60)о	84	0,42660	0,000051	0,44940	0,000520
Сума квадратів відхилень						0,003704
3. Перевірка однорідності дисперсії вибірок						
Найбільша з дисперсій вибірок:				$S^2_{\max} =$	0,000218	
Сума всіх дисперсій вибірок:				$\Sigma S^2_{ij} =$	0,000673	
Розрахункове значення критерія Кохрена:				$G_{\text{розр}} =$	0,3246	
Рівень значущості:				$q =$	0,05	
Кількість ступенів свободи:				$f =$	7	
Табличне значення критерія Кохрена:				$G_{\text{табл}} =$	0,460	
Оскільки $G_{\text{розр}} < G_{\text{табл}}$, то дисперсії вибірок однорідні.						
4. Визначення дисперсії відтворюваності						
Кількість дослідів:				$N =$	8,0000	
Кількість спостережень у досліді:				$n =$	5,0000	
Дисперсія відтворюваності:				$S^2_{\text{в}} =$	0,0000841	
5. Визначення дисперсії адекватності						
Кількість оцінюваних коефіцієнтів:				$p =$	6,0000	
Дисперсія адекватності:				$S^2_{\text{ад}} =$	0,0006173	
6. Перевірка адекватності рівняння регресії						
Розрахункове значення критерія Фішера:				$F_{\text{розр}} =$	7,34173	
Рівень значущості:				$q =$	0,05	
Кількість ступенів свободи $S^2_{\text{ад}}$:				$f_{\text{ад}} =$	2	
Кількість ступенів свободи $S^2_{\text{в}}$:				$f_{\text{в}} =$	32	
Табличне значення критерія Фішера:				$F_{\text{табл}} =$	19,46	
Оскільки $F_{\text{розр}} < F_{\text{табл}}$, то рівняння регресії адекватне.						

Б.3.2 – третій розділ другий підрозділ додатку Б.3
**Статистичні показники формостійкості меблевих щитів із заготовок
 деревини бука звичайного від кута нахилу та ширини рейок**

Результати експериментальних випробувань на вплив поперечних розмірів рейок на показники формостійкості меблевих щитів із заготовок деревини бука звичайного представлено у табл. 4.6.

$$\text{Дисперсію відтворюваності: } S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N}; \quad (4.6)$$

Підставивши дані у формулу 4.6 отримаємо значення дисперсії відтворюваності:

$$S_y^2 = 0,000673/8=0,000084.$$

Отримані коефіцієнти та їх значимість. Для визначення коефіцієнтів рівняння було використано відомі методики статистичної обробки даних і розраховано коефіцієнти рівняння регресії (табл. 4.7).

Таблиця 4.6.

Розрахунок середніх значень та дисперсії

№ досліджу	Результати u_{ij} відхилення від площинності для різних конструкцій меблевих щитів, мм					Середнє значення в j -ій вибірці	Дисперсія в j -ій вибірці
	u_{1j}	u_{2j}	u_{3j}	u_{4j}	u_{5j}		
1	2	3	4	5	6	7	8
9.	0,301	0,302	0,301	0,318	0,317	0,308	0,000079
10.	0,081	0,091	0,087	0,079	0,091	0,086	0,000031
11.	0,733	0,716	0,722	0,728	0,714	0,723	0,000064
12.	0,291	0,294	0,274	0,277	0,275	0,282	0,000091
13.	0,399	0,401	0,403	0,422	0,412	0,407	0,000091
14.	0,141	0,164	0,162	0,174	0,141	0,156	0,000218
15.	0,181	0,199	0,185	0,192	0,190	0,189	0,000047
16.	0,432	0,415	0,426	0,427	0,433	0,427	0,000051
Сума						2,58	0,000673

Таблиця 4.7

Розрахунок коефіцієнтів регресії, перевірка на значущість коефіцієнтів рівняння регресії та визначення їх достовірних інтервалів

Коефіцієнт	Цифрова величина коефіцієнта	$t(q, f_y)$ $S\{b_i\}$	Висновок	Межі достовірного інтервалу	
				$b_i - t_{\text{табл}} S\{b_i\}$	$b_i + t_{\text{табл}} S\{b_i\}$
b_0	0,240	0,0094	знач.	0,231	0,250
b_1	-0,152	0,0034	знач.	-0,156	-0,149
b_2	0,141	0,0034	знач.	0,138	0,145
b_{11}	0,042	0,0072	знач.	0,034	0,049
b_{22}	0,068	0,0072	знач.	0,060	0,075
b_{12}	-0,055	0,0042	знач.	-0,059	-0,050

Розрахунок дисперсії адекватності за формулою:

$$\sum_{j=1}^8 (\bar{y}_j - y_j^p)^2 \quad (4.7)$$

Таблиця 4.8

Розрахунок дисперсії адекватності

№ дослідю	\bar{y}_j	y_j^p	$(\bar{y}_j - y_j^p)^2$
1	2	3	4
9.	0,308	0,306	0,000004
10.	0,086	0,111	0,000613
11.	0,723	0,698	0,000613
12.	0,282	0,284	0,000004
13.	0,407	0,434	0,000715
14.	0,156	0,130	0,000715
15.	0,189	0,167	0,000520
16.	0,427	0,449	0,000520
Сума			0,003704

Дисперсію адекватності:
$$S_{ad}^2 = \frac{n}{f_{ad}} \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - y_j^p)^2 \quad (4.8)$$

Підставивши дані у формулу 4.8 отримаємо значення дисперсії адекватності:

$$S_{ad}^2 = 5/(8-7) * 0,003704 = 0,018517667.$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{розр.} = \frac{S_{більша}^2}{S_{менша}^2} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} \quad (4.9)$$

Підставивши дані у формулу 4.9 отримаємо розрахункове значення критерію Фішера $F_{розр}$:

$$F_{розр} = 0,018517667 / 0,000084 = 220,25.$$

Табличне значення критерію Фішера $F_{табл.}$, яке залежить від рівня значимості $q=5\%$, числа ступенів вільності дисперсії адекватності $f_{ad}=8-7=1$ та числа належних оцінок дисперсії відтворюваності $f_y=8*(5-1)=32$: $F_{табл.}=250$.

Оскільки, $220,25 < 250$ ($F_{розр} < F_{табл.}$), тоді регресійна модель адекватна.

В.1.1 – перший розділ перший підрозділ додатку В.1

**Результати статистичної обробки експериментальних даних
формостійкості МЩ залежно від кутів нахилу та ширини ламелей**

Номер дослідів з випробуванням зразків МЩ		Формостійкість ($S_{пр}$) меблевих щитів із бука для різних перерізів та кутів нахилу річних кілець до пласті щита, мм								
		1-1,5			1-2,5			1-3,5		
		S_{0-20}	S_{21-40}	S_{41-60}	S_{0-20}	S_{21-40}	S_{41-60}	S_{0-20}	S_{21-40}	S_{41-60}
1	0,301	0,160	0,112	0,458	0,247	0,138	0,702	0,452	0,269	
2	0,325	0,168	0,113	0,428	0,228	0,118	0,696	0,438	0,286	
3	0,298	0,166	0,110	0,422	0,242	0,113	0,677	0,453	0,288	
4	0,339	0,176	0,108	0,429	0,230	0,137	0,674	0,434	0,294	
5	0,265	0,165	0,113	0,431	0,252	0,146	0,740	0,466	0,282	
X_{min}	мінімальне значення	0,265	0,160	0,108	0,422	0,228	0,113	0,674	0,434	0,269
X_{max}	максимальне значення	0,339	0,176	0,113	0,458	0,252	0,146	0,740	0,466	0,294
$X_{ср}$	середнє значення (СЗ)	0,306	0,167	0,111	0,434	0,240	0,130	0,698	0,449	0,284
s^2	дисперсія	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	середньоквадр. відх.	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
V	коефіцієнт варіації	9,26%	3,45%	1,96%	3,23%	4,37%	10,96%	3,78%	2,92%	3,30%
m	помилка СЗ	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
P	точність СЗ	0,0293	0,0109	0,0062	0,0102	0,0138	0,0347	0,012	0,0092	0,0104
$\bar{X}_{ср}$	показник	0,306±0,01	0,167±0	0,111±0	0,434±0	0,240±0	0,130±0	0,698±0,01	0,449±0	0,284±0
A	Показник асиметрії	-0,234	0,313	-0,013	0,848	-0,113	-0,096	0,550	0,047	-0,551
E	Показник ексцесу	-1,716	-1,478	-2,014	-1,175	-2,110	-2,094	-1,518	-1,899	-1,431
S_A	S асиметрії	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707
S_E	S ексцесу	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
Перевірка розподілу $ A/S_A \leq 3$		0,332	0,443	0,019	1,199	0,159	0,136	0,777	0,067	0,779
Перевірка розподілу $ E/S_E \leq 3$		2,288	1,970	2,685	1,566	2,814	2,792	2,024	2,532	1,908
Розподіл параметра		норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.

В.1.2 – перший розділ другий підрозділ додатку В.1

**Результати перевірки за розрахунковими коефіцієнтами математичної
моделі прогнозування формостійкості меблевих щитів із деревини бука та
порівняння даних з експериментальними показниками**

A		D	Кн		C	Кр		Мод.	Експ.	% відх			
0,0334	e	0,5168	1		1,677	e	0,522	1		1,685	0,094	0,111	17,61
0,0334	e	0,5168	1		1,677	e	0,522	2		2,841	0,159	0,130	18,28
0,0334	e	0,5168	1		1,677	e	0,522		3	4,787	0,268	0,284	5,93
0,0334	e	0,5168		2	2,811	e	0,522	1		1,685	0,158	0,167	5,53
0,0334	e	0,5168		2	2,811	e	0,522		2	2,841	0,267	0,240	10,01
0,0334	e	0,5168		2	2,811	e	0,522		3	4,787	0,450	0,449	0,11
0,0334	e	0,5168		3	4,713	e	0,522	1		1,685	0,265	0,306	15,33
0,0334	e	0,5168		3	4,713	e	0,522		2	2,841	0,447	0,434	2,95
0,0334	e	0,5168		3	4,713	e	0,522		3	4,787	0,754	0,698	7,39

Г.1.1 – перший розділ перший підрозділ додатку Г.1

Результати статистичної обробки експериментальних даних формостійкості МЩ залежно від кутів нахилу та ширини ламелей з перерізом рейки 1:1

Номер досвіду з використанням зразка МЩ	Формостійкість (S ₀) мобільних швів із бруса з перерізом рейки 1:1 з різним кутом нахилу кілець до кінця шита, мм																															
	Ламель, 0 градуса				Ламель, 1 градуса				Ламель, 2 градуса				Ламель, 3 градуса				Ламель, 4 градуса															
	S ₀₁	S ₀₂	S ₀₃	S ₀₄	S ₀₅	S ₀₆	S ₀₇	S ₀₈	S ₀₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁₆	S ₁₇	S ₁₈	S ₁₉	S ₂₀												
1	0,420	0,192	0,116	0,428	0,182	0,122	0,415	0,203	0,108	0,399	0,218	0,111	0,424	0,203	0,101	0,425	0,205	0,118	0,408	0,190	0,104	0,407	0,189	0,115	0,402	0,186	0,120	0,386	0,190	0,108		
2	0,416	0,200	0,115	0,422	0,199	0,099	0,391	0,197	0,115	0,423	0,180	0,108	0,390	0,180	0,119	0,411	0,211	0,113	0,409	0,215	0,120	0,394	0,189	0,118	0,389	0,182	0,120	0,397	0,190	0,116		
3	0,465	0,198	0,118	0,413	0,205	0,129	0,432	0,203	0,113	0,398	0,197	0,107	0,396	0,200	0,121	0,465	0,198	0,118	0,413	0,205	0,129	0,432	0,203	0,113	0,398	0,197	0,107	0,396	0,200	0,121		
X ₀₀ мінімальна ширинка	0,411	0,192	0,113	0,408	0,182	0,099	0,391	0,189	0,108	0,389	0,180	0,107	0,386	0,180	0,101	0,465	0,211	0,118	0,428	0,215	0,129	0,432	0,203	0,118	0,423	0,218	0,120	0,424	0,203	0,121		
X ₀₀ максимальна ширинка	0,465	0,211	0,118	0,428	0,215	0,129	0,432	0,203	0,118	0,423	0,218	0,120	0,424	0,203	0,121	0,427	0,201	0,116	0,416	0,198	0,115	0,408	0,196	0,114	0,402	0,193	0,113	0,399	0,193	0,113		
X ₀₀ середня ширинка (СЗ)	0,427	0,201	0,116	0,416	0,198	0,115	0,408	0,196	0,114	0,402	0,193	0,113	0,399	0,193	0,113	0,427	0,201	0,116	0,416	0,198	0,115	0,408	0,196	0,114	0,402	0,193	0,113	0,399	0,193	0,113		
s ² дисперсія	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
z середнього відк. від	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Y коефіцієнт кореляції	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
n площа СЗ	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Y площа СЗ	0,0101	0,0113	0,0067	0,0060	0,0084	0,0068	0,0129	0,0115	0,0108	0,0060	0,0124	0,0117	0,0117	0,0117	0,0117	0,0101	0,0113	0,0067	0,0060	0,0084	0,0068	0,0129	0,0115	0,0108	0,0060	0,0124	0,0117	0,0117	0,0117	0,0117	0,0117	
X ₀₀ ширинка	0,427±0,01	0,201±0	0,116±0	0,416±0	0,198±0	0,115±0	0,408±0,01	0,196±0	0,114±0	0,402±0	0,193±0	0,113±0	0,399±0	0,193±0	0,113±0	0,427±0,01	0,201±0	0,116±0	0,416±0	0,198±0	0,115±0	0,408±0,01	0,196±0	0,114±0	0,402±0	0,193±0	0,113±0	0,399±0	0,193±0	0,113±0	0,399±0	0,193±0
A Похибка ширинки	0,957	0,278	-0,148	0,329	0,036	-0,161	0,295	-0,009	-0,634	0,733	0,620	0,266	0,760	-0,217	-0,384	0,957	0,278	-0,148	0,329	0,036	-0,161	0,295	-0,009	-0,634	0,733	0,620	0,266	0,760	-0,217	-0,384		
E Похибка нахилу	-1,657	-1,679	-1,996	-1,966	-1,877	-2,060	-1,816	-2,213	-1,329	-1,296	-1,541	-2,173	-1,270	-1,820	-1,892	-1,657	-1,679	-1,996	-1,966	-1,877	-2,060	-1,816	-2,213	-1,329	-1,296	-1,541	-2,173	-1,270	-1,820	-1,892		
S ₀ 0 градуса	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	0,707	
S ₀ 1 градуса	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	
Ширинка ламелі (А/В)±0,5	1,354	0,387	0,210	0,465	0,051	0,252	0,410	0,013	0,407	1,036	0,876	0,404	1,074	0,335	0,542	1,354	0,387	0,210	0,465	0,051	0,252	0,410	0,013	0,407	1,036	0,876	0,404	1,074	0,335	0,542		
Ширинка ламелі (В/В)±0,5	1,383	2,238	2,661	2,648	2,503	2,773	2,421	2,950	1,772	1,698	2,055	2,898	1,694	2,438	2,523	1,383	2,238	2,661	2,648	2,503	2,773	2,421	2,950	1,772	1,698	2,055	2,898	1,694	2,438	2,523		
Розподіл параметрів	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.	норм.

Г.1.2 – перший розділ другий підрозділ додатку Г.1

Результати статистичної обробки експериментальних даних формостійкості МЩ залежно від кутів нахилу та ширини ламелей з перерізом рейки 1:1,5

Номер досвіду з використанням зразка МЩ	Формостійкість (S ₀) мобільних швів із бруса з перерізом рейки 1:1,5 з різним кутом нахилу кілець до кінця шита, мм																														
	Ламель, 0 градуса				Ламель, 1 градуса				Ламель, 2 градуса				Ламель, 3 градуса				Ламель, 4 градуса														
	S ₀₁	S ₀₂	S ₀₃	S ₀₄	S ₀₅	S ₀₆	S ₀₇	S ₀₈	S ₀₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁₆	S ₁₇	S ₁₈	S ₁₉	S ₂₀											
1	0,740	0,309	0,161	0,754	0,319	0,164	0,718	0,294	0,144	0,777	0,282	0,172	0,727	0,297	0,163	0,757	0,314	0,164	0,732	0,327	0,148	0,792	0,322	0,162	0,784	0,306	0,151	0,718	0,318	0,157	
2	0,797	0,325	0,151	0,801	0,278	0,168	0,732	0,309	0,159	0,699	0,304	0,150	0,719	0,286	0,142	0,797	0,325	0,151	0,801	0,278	0,168	0,732	0,309	0,159	0,699	0,304	0,150	0,719	0,286	0,142	
3	0,808	0,308	0,160	0,752	0,319	0,170	0,733	0,282	0,158	0,755	0,307	0,159	0,748	0,294	0,170	0,808	0,308	0,160	0,752	0,319	0,170	0,733	0,282	0,158	0,755	0,307	0,159	0,748	0,294	0,170	
4	0,781	0,307	0,165	0,753	0,294	0,152	0,741	0,312	0,172	0,727	0,308	0,158	0,722	0,302	0,160	0,781	0,307	0,165	0,753	0,294	0,152	0,741	0,312	0,172	0,727	0,308	0,158	0,722	0,302	0,160	
X ₀₀ мінімальна ширинка	0,740	0,307	0,151	0,732	0,278	0,148	0,718	0,282	0,144	0,699	0,282	0,150	0,718	0,286	0,142	0,808	0,322	0,160	0,801	0,327	0,170	0,792	0,322	0,172	0,777	0,308	0,172	0,748	0,318	0,170	
X ₀₀ максимальна ширинка	0,808	0,322	0,160	0,801	0,327	0,170	0,792	0,322	0,172	0,777	0,308	0,172	0,748	0,318	0,170	0,778	0,312	0,162	0,758	0,307	0,140	0,743	0,304	0,159	0,732	0,301	0,158	0,727	0,299	0,158	
X ₀₀ середня ширинка (СЗ)	0,778	0,312	0,162	0,758	0,307	0,140	0,743	0,304	0,159	0,732	0,301	0,158	0,727	0,299	0,158	0,778	0,312	0,162	0,758	0,307	0,140	0,743	0,304	0,159	0,732	0,301	0,158	0,727	0,299	0,158	
s ² дисперсія	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
z середнього відк. від	0,05	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Y коефіцієнт кореляції	3,24%	2,03%	4,07%	3,36%	7,06%	6,15%	3,85%	5,17%	4,22%	4,56%	3,58%	5,52%	3,70%	3,98%	6,54%	3,24%	2,03%	4,07%	3,36%	7,06%	6,15%	3,85%	5,17%	4,22%	4,56%	3,58%	5,52%	3,70%	3,98%	6,54%	
n площа СЗ	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Y площа СЗ	0,0101	0,0064	0,0029	0,0090	0,0023	0,0094	0,0022	0,0104	0,0022	0,0104	0,0022	0,0104	0,0022	0,0104	0,0022	0,0101	0,0064	0,0029	0,0090	0,0023	0,0094	0,0022	0,0104	0,0022	0,0104	0,0022	0,0104	0,0022	0,0104	0,0022	0,0104
X ₀₀ ширинка	0,778±0,01	0,312±0	0,162±0	0,758±0,01	0,307±0	0,140±0	0,743±0,01	0,304±0	0,159±0	0,732±0,01	0,301±0	0,158±0	0,727±0,01	0,299±0	0,158±0	0,778±0,01	0,312±0	0,162±0	0,758±0,01	0,307±0	0,140±0	0,743±0,01	0,304±0	0,159±0	0,732±0,01	0,301±0	0,158±0	0,727±0,01	0,299±0	0,158±0	
A Похибка ширинки	-0,024	0,818	-0,714	0,744	-0,160	-0,339	0,843	-0,271	-0,227	0,243	-0,817	0,786	0,837	0,740	-0,407	-0,024	0,818	-0,714	0,744	-0,160	-0,339	0,843	-0,271	-0,227	0,243	-0,817	0,786	0,837	0,740	-0,407	
E Похибка нахилу	-2,088	-1,314	-1,299	-1,390	-1,891	-2,344	-1,152	-1,842	-1,465	-2,062	-1,340	-1,674	-1,235	-1,610	-1,473	-2,088	-1,314	-1,299	-1,390	-1,891	-2,344	-1,152	-1,842	-1,465	-2,062	-1,340	-1,674	-1,235	-1,610	-	



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ПАТ «Явір»
Г'яніков В.Г.

4 серпня 2023 р.

Тел./факс: +38(250)33-009 / +38 096 300-91-58 / +38 063 983 46 49
Адреса: Львівська область, смт. Івано-Франкове, вул. Львівська, 55
E-mail: els-mebli@ukr.net

А К Т

про впровадження результатів кандидатської дисертації асистента Подібки Т.І.

Ми, що нижче підписались, керівник цеху Матвійв Л.О., технолог-дизайнер Васько О.М., головний інженер Науменко О.В., аспірант кафедри технології меблів та виробів з деревини НЛТУ України Подібка Тарас Іванович, склали даний акт про те, що матеріали наукової роботи Подібки Т.І., які подані у вигляді практичних рекомендацій і моделей, будуть використані для удосконалення конструкцій меблевих щитів із зрощених та монолітних рейок в технологічних процесах перероблення первинної сировини.

Було виготовлено 1,8 м³ клеєних одношарових щитів із деревини бука та сосни товщиною 24 мм. Ширина рейок становила для ламелей із сосни 20, 50, 80 мм, для ламелей із бука 24, 36, 60 та 84 мм. Розміри меблевих щитів для досліджень склали 500×500×24 мм. Рекомендовані режимні параметри були такими: температура – 95-110 °С, час витримки – 24-38 хв, тиск – 0,7-1,4 МПа.

Використання запропонованих математичних моделей прогнозування формостійкості дозволило підвищити якість продукції за рахунок правильного співвідношення сторін у поперечному перерізі рейок 1:3 (відношення товщини до ширини), підбору рейок для укладання (максимального використання радіальних) – за кутом нахилу річних кілець не менше 45°, що, в першу чергу, впливає на формостійкість меблевих щитів та якість для фасадних конструкцій, та врахування монолітності бездефектних ділянок.

Дослідно-промислова перевірка показала, що стріла прогину щодо формостійкості меблевих щитів даних конструкцій із деревини хвойних порід (сосни звичайної (*Pinus sylvestris*)) та твердолистяних порід (бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)) відповідала вимогам стандарту ДСТУ EN 13353:2009 «Щити дерев'яні. Вимоги» в межах менше 0,5 мм, а використання сучасних методів прогнозування деформативності дає можливість раціонально використовувати короткомірні залишки деревини шляхом зрощування.

Асистент кафедри технології меблів
та виробів з деревини НЛТУ України

Подібка Т.І.

Керівник цеху

Матвійв Л.О.

Технолог дизайнер

Васько О.М.

Головний інженер

Науменко О.В.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ПАТ «Явір»

П'яніков В.Г.

4 серпня 2023 р.

Адреса: Львівська обл. ...

с. м. Івано-Франкове, вул. Львівська, 55

E-mail: els-mebli@ukr.net**А К Т**

**передачі матеріалів кандидатської дисертації
аспіранта Подібки Тараса Івановича
щодо розроблення нових конструкцій меблевих щитів із деревини сосни
звичайної (*Pinus sylvestris*) та бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) із
зазначенням режимів виготовлення**

Цим актом стверджується, що аспірантом Подібкою Т.І. передано ПАТ «Явір» результати дисертаційної роботи із розроблення нових конструкцій меблевих щитів із деревини сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) та бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) із зазначенням режимів виготовлення.

Розроблені практичні рекомендації пропонується для впровадження у виробничих умовах на підприємстві ПАТ «Явір» з метою економії первинної деревини, використовуючи при цьому короткомірні залишки, як додатковий ресурс, запроваджуючи операцію зрошування.

Зміст переданих матеріалів у повній мірі відображає особливості процесу перероблення короткомірних залишків на виготовлення розмірно-придатних заготовок та відповідно якісних меблевих щитів. Матеріали дисертації будуть використані для розроблення нових конструкцій меблевих щитів із деревини сосни та бука з використанням запропонованих режимів виготовлення.

Передав:

Аспірант кафедри технології меблів
та виробів з деревини НЛТУ України



Подібка Т.І.

Прийняв:

Керівник цеху ПАТ «Явір»



Матвіїв Л.О.

Адреса: вул. Фабрична, 8А
с/т. Великий Бичків, Рахівський р-н,
Закарпатська обл., Україна, 90615



ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ТзОВ «ВГСМ»
Мацелура Ірина Олександрівна
3 серпня 2023 року

А К Т

впровадження результатів дисертації доктора філософії асистента кафедри технології меблів та виробів з деревини (ТМВД) Подібки Тараса Івановича

Ми, комісія у складі: Ткач Ю.Ю. – начальник виробництва; Клевець І.В. – менеджер відділу якості; Подібки Т.І. – аспіранта кафедри технології меблів та виробів з деревини НЛТУ України, склали цей акт про те, що на ТзОВ «ВГСМ» виготовлялась пробна партія меблевих щитів обсягом 3,6 м³ (товщиною 24 мм) з використанням хвойних порід (сосни звичайної (*Pinus sylvestris*)) та твердолистяних порід (бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)), а над зразками із цієї партії меблевих щитів було проведено випробування.

Меблеві щити виготовлялись із даних порід згідно розроблених математичних моделей та практичних рекомендацій представлених за результатами наукової роботи Подібки Т.І. Для виготовлення ламелей для виготовлення меблевих щитів рекомендується монолітні та зрощені бездефектні відрізки. Для виготовлення меблевого щита необхідні наступні режими:

а) для бука: початкова вологість рейок – 8 ± 2 %; тиск – 80-110 бар, час витримки – 5-6 хв, температура – 88-92 °С, витрати клею – 170-190 г/м²;

б) для сосни: початкова вологість рейок – 10-12 %; тиск – 45-55 бар, час витримки – 5-6 хв, температура – 85-90 °С, витрати клею – 140-160 г/м².

Виконані випробування засвідчили, що одержані щитові клеєні одношарові конструкції відповідних конструкцій за величиною стрілою прогину щодо формостійкості вимогам стандарту ДСТУ EN 13353:2009 «Щити дерев'яні. Вимоги».

Запропоновані математичні моделі аспірантом Подібкою Т.І. дали можливість розробити нові конструкції меблевих щитів з використанням зрощених ламелей, в яких визначальними факторами є ширина рейки, кут нахилу річних шарів до пластів плити, спосіб укладання з перевагою радіальних рейок та власне їх якісні характеристики.

Окрім того, запровадження на ТзОВ «ВГСМ» технології використання короткомірних залишків деревини, що не можуть бути використані в основному виробництві, а перероблення яких є дешевше, ніж заготівля первинної деревини, дозволить також отримати вигоду, зокрема на операції сушіння в 1,15-1,25 рази, оскільки середньозважена вологість їх становить 11-15 %, що дасть змогу в стільки ж разів збільшити обсяг виробництва клеєних щитів заданих специфікацій. Таким чином, підтвердила правильність отриманих теоретичних і практичних результатів кандидатської дисертації Подібки Т.І., що дало змогу розробити технічні умови на зазначені вище конструкції та виготовляти їх промислово згідно запропонованої технології.

Начальник виробництва

Ткач Ю.Ю.

Менеджер відділу якості

Клевець І.В.

Аспірант кафедри ТМВД НЛТУ України

Подібка Т.І.

Адреса: вул. Фабрична, 8А
сmt. Великий Бичків, Рахівський р-н,
Закарпатська обл., Україна, 90615



ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ТзОВ «ВГСМ»
Мацегура Ірина Олександрівна
3 серпня 2023 року


А К Т

передачі матеріалів дисертаційної роботи асистента Подібки Т.І. щодо виготовлення меблевих щитів з використанням хвойних порід (сосни звичайної (*Pinus sylvestris*)) та твердолистяних порід (бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.))

Цим актом стверджується, що аспірантом Подібкою Тарасом Івановичем передано ТзОВ «ВГСМ» результати кандидатської дисертації по дослідженню закономірності впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів.

Перелік матеріалів, що передаються включає конструкції меблевих щитів із зазначенням характеристик рейок для укладання, технологію виготовлення зрощених ламелей із бездефектних ділянок, а також технологію виготовлення меблевих щитів із деревини бука та сосни.

Передав:

Аспірант кафедри ТМВД НЛТУ України  - Подібка Т.І.

Прийняв:

Начальник виробництва

 Ткач Ю.Ю.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор
з науково-педагогічної роботи

О.І. Сущинський

2023 р.

7 червня 2023 р.

м. Львів

Про встановлення факту використання результатів дисертаційної роботи аспіранта Подібки Т.І. у навчальному процесі Національного лісотехнічного університету України (НЛТУ України).

Підстава: Рішення Вченої ради Навчально-наукового інституту деревообробних та комп'ютерних технологій і дизайну (ННІ ДКТД) від 27.06.2023 року (протокол № 5) про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта кафедри технології меблів та виробів з деревини Подібки Тараса Івановича у навчальний процес.

Складений комісією у складі:

Голова комісії: директор ННІ ДКТД, докт. техн. наук, професор Масевський В.О.

Члени комісії: завідувач кафедри ТМВД, докт. техн. наук, професор Кійко О.А.;

заступник директора ННІ ДКТД з навчальної роботи, канд. техн. наук
Копиць З.П.;

керівник навчально-методичного відділу, канд. техн. наук, доцент Салабай Р.Г.

7 червня 2023 р. комісія провела роботу зі встановлення факту використання результатів дисертаційної роботи Подібки Т.І. на тему “Закономірності впливу розмірних характеристик бездефектних ділянок соснових та букових ламелей на формостійкість меблевих щитів” у навчальному процесі НЛТУ України.

Комісія встановила, що у робочих планах фахової підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 187 «Деревообробні та меблеві технології» з навчальних дисциплін: для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти – «Технологія виробів з деревини», «Технологія меблевих виробів», для другого (магістерського) рівня вищої освіти – «Перероблення залишків деревини»; «Рациональне використання деревини», «Актуальні проблеми галузі» використовуються окремі результати дисертаційної роботи Подібки Т.І.

Акт складено у трьох примірниках:

1-й примірник – кафедрі технології меблів та виробів з деревини;

2-й примірник – навчально-методичному відділу НЛТУ України;

3-й примірник – здобувачу Подібки Т.І.

Голова комісії

В.О. Масевський

Члени комісії:

З.П. Копиць

О.А. Кійко

Р.Г. Салабай