

34. **Леоненков А.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. БХВ-Петербург. 2003. – 360 с.
35. **Масевський В.О.** Науково-технічні основи виробництва пилопродукції з урахуванням форми та розмірно-якісної характеристики лісоматеріалів: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук: 05.23.06 «Технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини» / В.О. Масевський. – Львів, 2013. – 41 с.
36. **Мацишин Я.В.** Підвищення ресурсоощадності виготовлення заготовок з пиломатеріалів: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук: 05.23.06 «Технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини» / Я.В. Мацишин. – Львів, 2014. – 20 с.
37. **Невмержицький О.В.** Аналіз сучасних моделей, орієнтованих на знання, та методів прийняття рішень / О.В. Невмержицький // Інформаційні технології проектування. – 2013. – №13. – С. 119-125.
38. **Ротштейн О.П.** Метод побудови функцій належності нечітких множин / О.П. Ротштейн, Г.О. Черноволик, Є.П. Ларюшкін // Вісник ВПП : наук. журнал. – Вінниця : Універсум-Вінниця. – 1996. – №3. – С. 72-75.
39. **Тищенко О.М.** Використання теорії нечітких множин у процесі діагностики стану підприємства / О.М. Тищенко, Л.О. Норік. – Харків: ХНЕУ. – 2009, вип. 647. – С. 610-617.
40. **Штовба С.Д.** Побудова функцій належності нечітких множин за кластеризацією експериментальних даних / С.Д. Штовба // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – №2. – С. 92-95.
41. **Штовба С.Д.** Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. — М: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.
42. **Штовба С.Д.** Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику / С.Д. Штовба. – Винница: Изд-во ВГТУ, 2001. – 198 с.

UDC 674

Assoc. prof. S.V. Gayda – UNFU

Using fuzzy expert systems for decision support in process of the post-consumer wood sorting

It is substantiated that the most realistic and possibly the only practical approach to solving the sorting problem is the description (accumulation volumes of PCW for material or energy use, volumes by size of pollution (sorting by categories), volumes by dimensional suitability (for obtaining specification blanks) and the very procedure for making current decisions about sufficient PCW that will provide the required quantity of quality blanks, methods of the theory of fuzzy sets. Fuzzy expert is developed. Well, the decision support system for choosing a rational PCW sorting option has developed a block diagram of a logical algorithm (simulation algorithm) to determine the priority PCW sorting option. It has been established that 83% of the 92% of the material eligible for sorting by categories remains Includes the first three categories. For each category we have our own percentages of the size-suitable PCW: PCW-I is 69%, PCW-II - 66%, and PCW-III - 50%. As a result, the percentage of size-suitable PCW is 60% of 83% for material use, or 50% of all PCW, which was intended for sorting.

Keywords: sorting, post-consumer wood, fuzzy expert systems, logical algorithm.

УДК 684.4

Доц. С.А. Грицак, канд. техн. наук – НЛТУ України

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК КРИВОЛІНІЙНОЇ ФОРМИ

Проаналізовано чотири способи отримання криволінійних заготовок. Вказано, що отримання криволінійних заготовок способом гнуття цільної деревини є найбільш прийнятним варіантом з точки зору раціонального використання ресурсу, техніко-економічних показників та схеми організації технологічного процесу. Однак технологічні можливості отримання максимального співвідношення товщини (h) заготовки до радіусу загину (R) для різних порід відомі і вичерпали себе повністю. Досягти менших радіусів згинання в поєднанні із вигином в різних

площинах можна при попередньому модифікуванні деревини методом пресування вздовж волокон. Однак відсутня інформація про фізико-механічні і реологічні характеристики такої деревини, а також про технологічні параметри її отримання. Це обумовлює необхідність проведення досліджень в даному напрямку.

Ключові слова: деревина, гнуття, криволінійні заготовки, технологія, аналіз, спосіб.

У різні часи розвитку суспільства і технології деревооброблення при виготовленні виробів з деревини в тій чи іншій мірі використовували деталі криволінійної форми. Це обумовлено не тільки хорошим зовнішнім виглядом виробу (меблі, рами картин), але і сферою використання (колеса возів, механізми млинів, стерна суден). В даний час криволінійні деталі застосовують при виготовленні меблів, спортивного інвентарю, човнів і катерів, бочкової тари, будівельних виробів (перила, арочні ферми мостів, ангарів, складів і сільськогосподарських будівель). Їх також застосовують при виготовленні планерів і навчально-тренувальних літаків, футлярів для приладів, апаратури і музичних інструментів, фанерних труб, фанерних бочок та інших деталей.

На мою думку найбільш повно класифікація способів виготовлення криволінійних заготовок подано Войтовичем, Гайдою та Воронович [1-17]: різанням з масивних заготовок (пилянням, фрезеруванням, фрезерним копіюванням, точінням). гнуттям (масивної деревини, з одночасним склеюванням, пропиленням заготовок, плетінням). пресуванням (масивної деревини, тиснення плоских заготовок, деревно-клеювої композиції). випалюванням лазером. До недоліків першого способу відносять: складність отримання заготовок з невеликим поперечним перерізом із замкнутим контуром і великим радіусом кривизни; низька міцність заготовок, яка обумовлена перерізанням волокон деревини; низький корисний вихід заготовок, що обумовлений, в тому числі, необхідністю збільшення поперечного перерізу для компенсації втрат міцності; погіршення зовнішнього вигляду, яке викликане наявністю торцевих і напівторцевих поверхонь.

Склеювання заготовок в щити з наступним розкриємо за шаблонами може збільшити корисний вихід, однак це пов'язано з різким збільшенням трудозатрат.

Спосіб гнуття масивної деревини практично позбавлений недоліків, притаманних першому. Він дозволяє більш ефективно використовувати деревину (зменшити витрати матеріалів) і забезпечити достатню міцність.

Гнуття з одночасним склеюванням дозволяє використовувати шпон малоцінних порід і отримувати заготовки з малим радіусом кривизни і досить високою міцністю [18]. Недоліком є висока вартість шпону і клею, підвищена токсичність та наявність клейових швів на торцевих поверхнях, що не дозволяє використовувати його при виготовленні високохудожніх виробів. Плетіння є оригінальним способом як за видом використаної сировини, так і за зовнішнім виглядом готових виробів. Третій спосіб також забезпечує ефективне використання деревини, причому можуть застосовуватися малоцінні породи. Можливе отримання деталей з покращеними фізико-механічними властивостями і кращим зовнішнім виглядом за рахунок силової дії (ущільнення) і утворення рельєфу на поверхні. Даний спосіб розроблений порівняно недавно і досі знаходиться в стадії дослідження і розроблення як технології, так і обладнання для його реалізації. Пресуванням деревно-клеювої композиції можна виготовити окремі деталі, вузли чи навіть готові вироби. При цьому вихідною сировиною служать подрібнені відходи деревини та клей. Отримані таким способом заготовки переважно опоряджують непрозорими покриттями. Випалюванням лазером вважають новітнім і перспективним способом. При поділі листових і плитних матеріалів забезпечується висока якість обробки і

відсутність відходів. Недоліком є велика енергоємність процесу, висока вартість обладнання, практична неможливість обробляти матеріал товщиною понад 50 мм, обвуглена поверхня і утворення диму. Найбільшого розповсюдження у виробництві криволінійних деталей з масивної деревини отримали два способи: за допомогою різання (фрезеруванням) і за допомогою гнуття. Переваги і недоліки кожного з цих способів відображені в табл. 1. [19].

Таблиця 1. Переваги і недоліки способів виготовлення криволінійних деталей

Спосіб	Переваги	Недоліки
Гнуття	• висока міцність і можливість виготовлення гнутих деталей із заготовок з малим перерізом • високий корисний вихід • екологічно-чиста технологія	• потреба в спеціальному обладнанні • тривалий і енергоємний технологічний процес, який обумовлений пропарюванням і сушінням
Різнання з масивних заготовок	• універсальне обладнання • висока продуктивність процесу	• низький корисний вихід заготовок • зниження міцності через перерізнання волокон • неможливість виробництва криволінійних деталей малого перетину з малими радіусами • погіршуються умови фрезерування після випилювання через наявність торцевих поверхонь

Судячи з таблиці 1., переваг у гнуття значно більше, ніж недоліків. Крім того, в ряді випадків технологію гнуття не можна замінити випилюванням (виробництво гнутих стільців з масивної деревини). Для забезпечення необхідної міцності при випилюванні приймають більший перетин заготовок, ніж при гнутті, так як перерізнання волокон різко знижує міцність. Збільшення поперечного перерізу призводить до зниження виходу заготовок з одного і того ж обсягу деревини. Стосовно витрати деревини на виробництво гнутого і столярного стільця по [20] вказується, що для виробництва столярного стільця потрібно в 1,4-1,5 рази більше пиломатеріалів. До недоліків способу можна віднести той факт, що сучасне меблеве виробництво вимагає застосування криволінійних заготовок із значно меншим співвідношенням товщини заготовки до радіуса ніж ті, які можна досягти традиційною технологією гнуття деревини. Традиційна технологія гнуття деревини на даний час практично вичерпала свої можливості. В сучасних умовах потрібний суттєвий прорив, що дозволить істотно розширити галузі використання гнутої деревини шляхом усунення недоліків, властивих способу.

Спеціальним обладнанням є обладнання для пластифікування деревини (проварювальні котли, пропарювальні автоклави і ін.), гнутарні верстати і шаблони. Використання проварювального і пропарювального обладнання пов'язане зі споживанням пари, що вимагає наявності котельні чи парогенератора. Гнутарні верстати не є складним обладнанням і можуть бути виготовлені на замовлення за наявними кресленнями. Зменшити кількість шаблонів, задіяних в технологічному процесі, можна зниженням вологості при гнутті [21], в результаті чого тривалість стабілізаційного сушіння зменшується. Тривалість технологічного процесу обумовлює час пластифікування і фіксації форми(сушіння), який в свою чергу в значній мірі залежить від вологості. Оптимальною вологістю заготовок при гнутті прийнято вважати вологість, близьку до межі гігроскопічності (25-30 %). Крім того, при початковій вологості менше 25 % час пропарювання збільшується на 5 хвилин на кожен відсоток вологості нижче 25 %. Зниження вологості при гнутті в цьому випадку проблематичне. Досушування заготовок до кінцевої вологості (6-

8%) виконують в шаблонах в зігнутому стані, що різко знижує коефіцієнт використання сушильних камер, вимагає значних трудових і енергетичних витрат, великої кількості оснащення для гнуття (шини, шаблони і ін.) і подовжує технологічний цикл. Про перевагу використання гнуття для отримання криволінійних заготовок свідчать дані [22], представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Порівняльний аналіз деяких техніко-економічних показників різних способів отримання криволінійних деталей

Назва способу виготовлення криволінійних деталей	Витрати круглих лісоматеріалів на 1 м ³ продукції, м ³	Витрати клею на м ³ продукції, кг.	Витрати електроенергії і пари на 1 м ³ продукції, руб.	Всього: затрати на сировину і енергоносії, т. руб.	Тривалість процесу, год.
Спосіб випилювання з масивної деревини	4,914	5,4	1960	61,036	202
Склеювання з одночасним гнуттям.	3,998	150	1045	52,021	360
Гнуття масивної деревини (традиційне).	3,799	---	2180	47,768	173

Бажаним було б взагалі виключити з технологічного процесу етап сушіння заготовок з метою фіксації форми. Це можливо в тому випадку, коли пластифікація і гнуття (чи осьове пресування) будуть проходити при вологості, яка незначно перевищує експлуатаційну. Заманливим також є можливість проводити гнуття в холодному сухому стані і в будь-якому напрямку та досушувати заготовки в умовах кінцевого споживача. Вартий уваги в технології пресування і гнуття масивної деревини є розроблений у Данії в 1988 р. метод, за допомогою якого винайшли новий матеріал, що отримав назву «Bendywood» [23].

"Bendywood" виготовляють, використовуючи механічний спосіб, що вимагає менше витрат, чим альтернативні методи. Використовують високоякісні, рівні заготовки з помірно-твердих порід деревини (дуба, в'яза, горіха, клена, бука і т. п.), яка частково висушена. Заготовки пропарюють в автоклаві, чим пом'якшують клітинні стінки (лігнін) настільки, що зроблять можливим стискування деревини на 20 % від початкової довжини. Цей процес компресії звужує стінки клітин на мікроскопічному рівні, дозволяючи їм стискуватися і розширюватися подібно акордеона. Застосовують у виробництві меблів, сходів, яхт, суднобудування, спортивного інвентарю, театральних і кіно декорацій, криволінійних огорож у будівництві та при виготовленні інших виробів з особливо складною криволінійною поверхнею. Перевагою даного матеріалу є можливість згинати в холодному і сухому стані в будь-якому напрямі; для гнуття не потрібно спеціальних інструментів або обладнання; можливо надати початкової форми і зігнути до іншого радіусу; відсутність хімічних добавок. Недоліком є низькі фізико-механічні характеристики, висока вартість, а також відсутність конкуренції (наявний один виробник-монополіст). Це практично вся інформація стосовно даного методу. Відсутня інформація про вимоги і способи підготовки сировини, фізико-механічні характеристики отриманого матеріалу, а також дані про структуру, обладнання і параметри технологічного процесу. Таким чином вказані вище процеси вимагають подальшого глибокого вивчення і розробки. Основуючись на проведеному аналізі в якості альтернативних можна розглядати наступні способи виготовлення криволінійних заготовок із масивної деревини (табл. 3.).

Таблиця 3. Порівняльний аналіз схем технологічних процесів способів виготовлення криволінійних деталей

Найменування способу виготовлення криволінійних деталей	Структура технологічного процесу											
	Розкрій круглих сортментів	Розкрій пиломатеріалів на заготовки	Сушіння	Первинна механічна обробка	Пропарювання в автоклаві	Приготування клею	Пресування	Гнуття	Сушіння в шаблонах	Склеювання	Калібрування щита	Розкрій на заготовки
Спосіб випилювання	○	○	○	○		○				○	○	○
Гнуття масивної деревини	○	○	○	○	○			○	○			
Пропонована технологія	○	○	○	○	○		○	○	○			

Висновки: Отримання криволінійних заготовок способом гнуття цільної деревини є найбільш прийнятним варіантом з точки зору раціонального використання ресурсу, техніко-економічних показників та схеми організації технологічного процесу. 2. Технологічні можливості отримати мінімальні співвідношення товщини (h) заготовки до радіусу загину (R) для різних порід відомі і вичерпали себе повністю. Використання більшості технічних рішень (гнучка шина, рухливий упор, ролик що пресує, шаблон з рискою) не дозволяє суттєво знизити співвідношення товщини заготовки до радіусу згину. Сучасні меблеве та столярно-будівельні виробництва вимагають застосування криволінійних заготовок із значно меншим співвідношенням товщини заготовки до радіусу ніж ті, які можна досягти традиційною технологією гнуття деревини, а також вигинання заготовок в двох і більше площинах – просторове гнуття. Досягти менших радіусів згинання в поєднанні із вигином в різних площинах можна при попередньому модифікуванні деревини. Під модифікуванням деревини в широкому сенсі слід розуміти спрямоване поліпшення її властивостей, надання їй нових позитивних якостей, усунення природних недоліків для більш широкого і повного використання в народному господарстві. Перспективною є технологія пресування і гнуття масивної деревини «Bendywood». Однак відсутня інформація про фізико-механічні і реологічні характеристики такої деревини, а також про технологічні параметри її отримання. Це обумовлює необхідність проведення досліджень в даному напрямку.

Література

1. **Voytovych I.G.** *Osnovi tekhnologii virobiv z derevini* [The basic technology of wood]. – Textbook. – Lviv: Kraine andeljat, 2010. – 304 p. (in Ukrainian).
2. **Gayda S.V., Voronovich V.V.** (2011): *Porivnyal'niy analiz gnuttya vzhivanoi derevini riznikh porid ta vikovikh kategoriy* [Comparative analysis of bending particularities for various post-consumer wood species and age categories]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 37(1): 84-88 (in Ukrainian).
3. **Gayda S.V., Voronovich V.V.** (2011): *Issledovanie osobennostey gnut'ya vtorichno ispol'zuemoy drevesiny* [Investigation of the features of bending of post-consumer wood]. *Scientific progress – creative young: proceedings of the International Scientific Conference, Mari State University*: 190-192 (in Russian).
4. **Gayda S.V., Voytovych I.G.** (2017): Дослідження міцності та стійкості елементів гратчастих меблевих виробів із вживаної деревини / *Doslidzhennya mitsnosti ta stiykosti elementiv gratchastykh meblevykh vyrobiv iz vzhivanoyi derevyny* [Durability and stability of elements for beam furniture products made from post-consumer wood are investigated]. *Bulletin of KhNTUA* 189:62-70 (in Ukrainian).
5. **Gayda S.V.** (2017): *Tekhnologiya i svoystva mebel'nogo shchita iz vtorichno ispol'zuemoy drevesiny* [A technology and properties of furniture board made of post-consumer wood]. *Actual problems of forest complex* 48:34-38, (in Russian).
6. **Gayda S.V.** (2016): Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnolohichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhivanoyi derevyny holkofrezernym instrumentom* [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. *Bulletin of KhNTUA* 178:3-11 (in Ukrainian).
7. **Gayda S.V., Ya.M. Bilyy** (2016): Дослідження формостійкості клеєних щитів із вживаної деревини / *Doslidzhennya formostiystosti kleyenykh shchytiv iz vzhivanoyi derevyny* [The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 69-79 (in Ukrainian).

8. **Gayda S.V.** (2016): Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood [Дослідження фізико-механічних характеристик фасадних столярних плит із вживаної деревини]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 33-50.
9. **Gayda S.V.** (2016): *Formoustoychivost' stolyarnykh plit iz vtorichno ispol'zuemoy drevesin* [A form of stability of blockboards made of post-consumer wood]. *Actual problems of forest complex* 46:148-153, (in Russian).
10. **Gayda S.V.** (2016): *Ekologo-tehnologicheskiye aspekty pererabotki vtorichno ispol'zuemoy drevesiny dlya proizvodstva pressovannykh materialov* [Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin of MSFU* 20(3):15-22 (in Russian).
11. **Gayda S.V.** (2015): Modeling properties of blockboards made of post-consumer wood on the basis of the finite element method. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 41:39-49.
12. **Gayda S.V.** (2015): *Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv vtorichno ispol'zuemoy drevesiny* [Investigation of physical and mechanical properties of post-consumer wood]. *Actual problems of forest complex* 43:175-179, (in Russian).
13. **Gayda S.V.** (2014): Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboard. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 40:41-51.
14. **Gayda S.V.** (2014): *Teoreticheskoye obosnovaniye podkhoda po prognozirovaniyu prochnosti drevesnostruzhechnykh plit iz vtorichno ispol'zuemoy drevesiny* [The theoretical rationale for the approach on the prediction the strength of particleboard from recycled wood]. *Actual problems of forest complex* 38:212-216 (in Russian).
15. **Gayda S.V.** (2013): *Tekhnologii ta rekomendatsii do vikoristannya vzhivanoi derevini v derevoobroblyenni* [Technologies and recommendations on the utilization of post-consumer wood in woodworking industry]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 39(1):48-67, (in Ukrainian).
16. **Gayda S.V.** (2012): Production techniques and properties of fuel pellets produced from post-consumer wood // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*. 38: 112-150.
17. **Gayda, S., Dyak, T.** (2011): The analysis of economic efficiency of post-consumer wood use for particleboard manufacture for LLC Swisspan Limited // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*. 37.2:129-136.
18. **Kostrikov P.V.** *Proizvodstvo gnutokleyenoy mebeli* [Production of curved furniture]. – M., 2008. – 282 p. (in Russian).
19. **Dankov A.S.** *Gnut'ye massivnoy drevesiny - perspektivnaya resursosberegayushchaya tekhnologiya budushchego* [Bending massive wood - a promising resource-saving technology of the future] // Restoration of the ecological-resource potential of agroforestry forests, afforestation and environmental management in the Central forest-steppe and southern Russia. – Voronezh, 2008. – p. 22-24. (in Russian).
20. **Maslenkov F.N.** *Mebel'. Obraztsy i razmery mebel'nykh izdeliy* [Furniture. Samples and dimensions of furniture products]. - M.: Coiz, 1948. – 120 p. (in Russian).
21. **Dankov A.S.** *Problemy i perspektivy gnut'ya massivnoy drevesiny* [Problems and prospects of bending massive wood] // *Forest. The science. Youth VGLTA* - 2006. - Voronezh, 2006. - p. 288-290.
22. **Dankov A.S.** *Razrabotka tekhnologii gnut'ya massivnoy drevesiny s ispol'zovaniyem SVCH – nagreva* [Development of technology for bending solid wood using microwave heating]: Thesis for the degree of candidate of technical sciences: 05.21.05. – Voronezh, 2009. – 145 p. (in Russian).
23. Internet: http://www.promwood.com/produkziya/hotovaja_produkciya/mebel/mebel/html

UDC 684.4

Assoc. prof. S.A. Hrytsak – UNFU, Lviv

Analysis of methods of receiving curv-linear forms

Four ways of obtaining curvilinear blanks are analyzed. It is indicated that obtaining curvilinear blanks by bending the whole wood is the most accepted variant in terms of rational use of the resource, technical and economic indicators and the scheme of organization of the technological process. However, the technological possibilities of obtaining the maximum ratio of thickness (h) of the workpiece to the bending radius (R) for different breeds are known and completely exhausted. To achieve smaller bending radii, combined with bending in different planes, it is possible with the prior modification of wood by compression along the fibers. However, there is no information on the physico-mechanical and rheological characteristics of such wood, as well as on the technological parameters of its obtaining. This contributes to the need for research in this direction.

Keywords: wood, bending, curvilinear workpieces, technology, analysis, method.