

- УДК 674.815-41

П. А. БЕХТА¹, Р. Г. САЛАБАЙ²

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ДЕРЕВИННО-СОЛОМ'ЯНИХ ПЛИТ

Описано закономірності впливу виду сировини та клейових матеріалів і параметрів режиму пресування на фізико-механічні властивості деревинно-солом'яних плит, виготовлених за технологічною схемою, прийнятою у виробництві стружкових плит. Наведено регресійні залежності водопоглинання, набрякання за товщиною, межі міцності під час статичного згинання та розтягу перпендикулярно до площини плит від вмісту солом'яних частинок за різного виду клею, які можуть бути використані в технологічних розрахунках, пов'язаних з виготовленням деревинно-солом'яних плит. Наведено параметри і фракційний склад подрібнених солом'яних частинок. Проаналізовано закономірності впливу щільності деревинно-солом'яних плит на їхні фізико-механічні властивості. Запропоновано параметри режиму пресування деревинно-солом'яних плит.

¹ **Павло Антонович БЕХТА** – дійсний член ЛАН України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімічної технології переробки деревини, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна. Тел.: 032-238-44-99; 032-237-89-05. E-mail: bekhta@forest.lviv.ua.

² **Роман Григорович САЛАБАЙ** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри хімічної технології переробки деревини, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна. Тел.: 032-238-44-09. E-mail: roman_salabay@ukr.net.

Вступ. У попередній статті [1], на основі аналізу літературних джерел, розглянуто: запаси і властивості соломи, переваги та чинники, які перешкоджають її використанню як сировини для деревинних плит. На підставі детального огляду проблем і можливостей виготовлення плит на основі соломи ми констатували, що проблему використання рослинної сировини у виробництві стружкових плит (СП) розкрито лише частково і вона потребує подальшого дослідження. Зокрема, доцільно було б з'ясувати питання про можливість застосування злакової соломи для виготовлення стружкових плит за технологією, прийнятою у виробництві СП.

Тому **метою дослідження** є встановлення закономірностей впливу технологічних параметрів на властивості деревинно-солом'яних плит і розроблення на цій основі режимів пресування плит з використанням пшеничної соломи.

Матеріали та методи досліджень. Для виконання досліджень використовували такі матеріали: деревинні частинки, які застосовуються у промисловому виробництві тришарових стружкових плит; пшеничні солом'яні частинки; смола КФ-МТ-15 (ТУ 6-06-12-88); затверджувач амоній хлористий (ГОСТ 3773-72); смола фенолоформальдегідна "Екстер"; вода (ГОСТ 2874-82).

Дослідження здійснювали у два етапи. На першому етапі досліджували властивості частинок та вплив сировини і клейових матеріалів на властивості деревинно-солом'яних плит; на другому етапі – вплив режимних параметрів виготовлення деревинно-солом'яних плит на їхні фізико-механічні властивості.

З урахуванням аналізу апріорної інформації змінними чинниками під час досліджень впливу основних технологічних параметрів сировини і матеріалів на властивості деревинно-солом'яних плит прийнято: тип подрібнювального обладнання (стружковий верстат з ножовим валом ДС-8 та стружковий верстат фрезерного типу "PESSA"); вміст солом'яних частинок (0, 25, 50, 75, 100 %); вид клею (карбамідоформальдегідний – КФС та фенолоформальдегідний – ФФС). Вибір марки клеїв визначали виробничими можливостями. Під час виготовлення деревинно-солом'яних плит застосовувалися клеї на основі карбамідо- та фенолоформальдегідної смол, які використовує плитна промисловість, відповідно: КФ-МТ-15 та "Екстер". З метою визначення характеру залежності властивостей деревинно-солом'яних плит від технологічних параметрів режиму пресування, змінними чинниками під час досліджень прийнято: температура (130, 150, 170 °C), тривалість (5, 14; 6, 14; 7, 14 хв), тиск (1,75; 2,25; 2,75 МПа) і пресування.

Враховуючи значну спорідненість деревинно-солом'яних плит із стружковими, і те, що стружкові плити з деревини та частинок соломи є в одній підкатегорії "плити деревинні стружкові", критеріями оцінки якості деревинно-солом'яних плит прийняті: межа міцності під час статичного згинання (σ_z) та розтягу перпендикулярно до площини плити (σ), водопоглинання (Δw) та набрякання плит за товщиною (t_w) [2].

Процес виготовлення зразків складався з п'яти етапів: підготовки солом'яних частинок, приготування

клею, змішування частинок з клеєм, формування стружкового брикету і пресування дослідних зразків.

Тришарову деревинно-солом'яну стружкову плиту плоского пресування виготовляли гарячим пресуванням обсмолених деревинних і солом'яних (їхні суміші) частинок. Масова частка зовнішніх шарів становила 43 %, середнього – 57 %. Наповнювач стружкової суміші складався з деревинних і солом'яних частинок в різних пропорціях. Солом'яні частинки додавали у зовнішні і середній шар плити, причому співвідношення наповнювача змінювалося як у зовнішніх, так і у середньому шарах плити.

Пшеничні солом'яні частинки виготовляли шляхом подрібнення тюків соломи на стружкових верстатах з ножовим валом ДС-8 і фрезерного типу "PESSA" та доподрібнення фракції солом'яних частинок –/10 на молотковій дробарці ДМ-7. Після подрібнення солом'яні частинки висушували до вологості 3 % і сортували на відповідні фракції, щоб відокремити великі частинки та розділити на частинки для зовнішніх (фракція 5/0) і середнього (фракція 10/5) шару плити.

Клеї вводили у стружкову масу у вигляді водневих розчинів із затверджувачами кількістю 14 % за сухим вмістом смоли від маси абсолютно сухих частинок. У процесі приготування клею здійснювали його технічний аналіз: визначали умовну в'язкість, водневий показник та концентрацію. Витрату компонентів деревинно-солом'яної клейової суміші розраховували на ЕОМ і в необхідній для дослідів пропорції за допомогою зважувальних приладів дозували за масою.

Підготовлений наповнювач (попередньо змішані деревинні і солом'яні частинки) змішували з клеєм. Тривалість змішування становила 10 хвилин. З клейової композиції відбирали проби для визначення вологості стружкового брикету за допомогою вологоміра Н Sack. Після цього формувалася стружковий пакет у пресформі. Сформований стружковий пакет підпресовували, знімали пресформу, закладали його у прес і за відповідного режиму пресували дослідні зразки тришарової плити товщиною 17 мм, щільністю 700 кг/м³, величиною 430×330 мм. Вологість готових плит становила 7-8 %. Для проведення подальших досліджень з виготовленого матеріалу вирізалися експериментальні зразки відповідної величини для визначення фізико-механічних властивостей одержаних плит. Механічні властивості деревинно-солом'яних плит визначалися на розривній машині Otto Wolpert-Werke типу U-2.

Для визначення водопоглинання і набрякання за товщиною деревинно-солом'яних плит зразки занурювали у воду на 24 год у спеціальну посудину (вода з термостатом), яка забезпечувала сталу температуру (20 ± 1) °C і мала пристрій для утримання зразків під водою. Після витримання у воді зразки повторно зважували і заміряли їх розміри.

Визначення фізико-механічних властивостей деревинно-солом'яних плит здійснювали після закінчення 5 діб з дня пресування. Визначення вмісту формальдегіду в плиті виконували перфораторним методом за допомогою апарата для екстракції. У перфораторі відбувалося екстрагування формальдегіду зі зразків деревинно-солом'яних плит киплячим толуолом і поглинання його дистильованою водою. Після екстрагування виконували зворотне йодометричне титрування підготовленого розчину і

визначали оптичну щільність фотоколориметричного розчину на електрофотоколориметрі. Визначивши об'єм титрувального розчину, витрачений на титрування, і вміст формальдегіду в пробах, визначений за калібрувальним графіком в мкг, для робочих і контрольних проб, обчислювали вміст формальдегіду в плиті.

Усі дослідження виконували в лабораторії за постійної температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і відносної вологості повітря 65 %.

Табл. 1. Фракційний склад (%) солом'яних і деревинних частинок

Номер фракції	Вміст фракцій (%) за видом частинок					
	солом'яні, одержані на обладнанні				деревинні, промислові	
	ДС-8		"PESSA" і ДМ-7			
	для формування шарів					
	зовнішніх	середнього	зовнішніх	середнього	зовнішніх	середнього
–/6,3	1,98	18,52	1,50	11,50	–	7,28
6,3/4	2,23	12,65	1,00	13,67	0,18	14,07
4/2	25,05	37,50	16,67	46,50	4,10	50,60
2/1	40,92	24,85	42,67	24,83	38,82	23,24

Табл. 2. Технологічні показники солом'яних і деревинних частинок

Назва показника	Номер фракції											
	6,3/4				4/2				2/1			
	Вид частинок											
	солом'яні		деревинні		солом'яні		деревинні		солом'яні		деревинні	
	для формування шарів: зовнішніх (З) і середнього (С)											
	З	С	З	С	З	С	З	С	З	С	З	С
Параметри, мм:												
– довжина	22,1	25,3	14,6	21,2	18,8	23,2	10,1	16,2	17,0	19,8	7,8	10,5
– ширина	2,01	2,33	3,27	3,88	1,80	1,72	2,70	2,40	1,46	1,50	1,52	1,61
– товщина	0,25	0,27	1,20	1,08	0,24	0,25	1,02	0,85	0,24	0,24	0,69	0,75
Відношення:												
– довжина: ширина	11,0	10,9	4,5	5,5	10,4	13,5	3,7	6,7	11,6	13,2	5,1	6,5
– довжина: товщина	88,4	93,7	12,2	19,6	78,3	92,8	9,9	19,1	70,8	82,5	11,3	14,0

Встановлено, що плити, виготовлені з солом'яних частинок, отриманих на стружковому верстаті фрезерного типу "PESSA", мають дещо менші фізичні і вищі механічні властивості, ніж плити, виготовлені з солом'яних частинок, отриманих на стружковому верстаті з ножовим валом ДС-8. Це пояснюється кращим подрібненням тюків солом'яних частинок на стружковому верстаті фрезерного типу, який не потребує додаткових пристроїв для подачі солом'яної сировини.

Табл. 3. Насипна щільність та ступінь ущільнення солом'яних і деревинних частинок

Назва показника	Вид частинок			
	солом'яні		деревинні	
	для формування шарів			
	зовнішніх	середнього	зовнішніх	середнього
Насипна щільність, кг/м ³	56,4	34,3	181,0	134,8
Ступінь ущільнення	12,4	20,4	3,9	5,2

Встановлено, що менші фізичні властивості мають деревинно-солом'яні плити з 25 %-им вмістом солом'яних частинок, які виготовлені на обладнанні "PESSA" і ДМ-7, а вищі механічні властивості – із

1/0,6 3	16,83	4,07	18,00	2,50	26,85	3,56
0,63/ 0,4	7,14	1,20	8,67	0,43	14,54	0,80
0,4/0	5,86	1,20	11,50	0,57	15,49	0,45

Результати та їхній аналіз. Вплив сировини і матеріалів на властивості деревинно-солом'яних плит. Експериментальними дослідженнями встановлено, що фракційний склад солом'яних і деревинних частинок відрізняється (табл. 1): солом'яні частинки довші, але менші за шириною, і тонші, ніж деревинні, тому відношення довжини до ширини у 2,0...2,8 раза і довжини до товщини у 4,8...7,9 раза вищі для солом'яних частинок (залежно від номера фракції і типу частинок), ніж відповідні відношення для деревинних частинок (табл. 2). Насипна щільність солом'яних частинок для формування зовнішніх шарів у 3,2 раза, середнього – у 3,9 раза менша, ніж деревинних; відповідно, виготовлені плити з солом'яних частинок мають більший ступінь ущільнення порівняно з плитами з деревинних частинок (табл. 3).

вмістом солом'яних частинок, отриманих на верстаті ДС-8 (рис. 1), що можна пояснити більшою довжиною солом'яних частинок, отриманих на верстаті ДС-8.

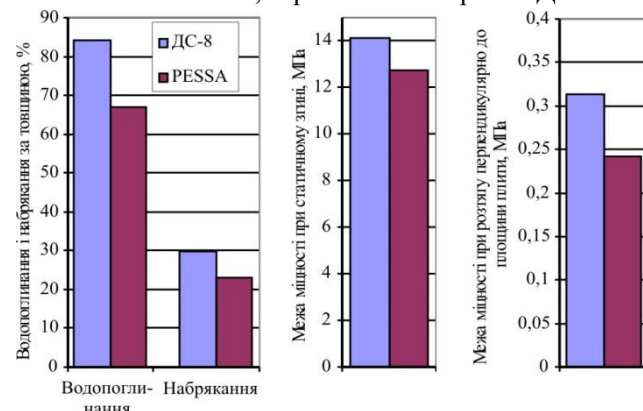


Рис. 1. Фізико-механічні властивості деревинно-солом'яних плит з 25 %-им вмістом солом'яних частинок, які подрібнені на різному обладнанні

Встановлено, що часткова заміна деревинних частинок солом'яними дає задовільні результати (рис. 2, 3, 4) щодо фізико-механічних властивостей плит.

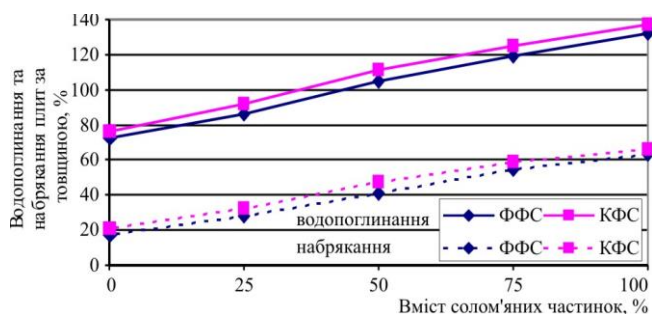


Рис. 2. Вплив вмісту солом'яних частинок на водопоглинання та набрякання за товщиною деревинно-солом'яних плит за різного виду клею

Різде зниження межі міцності під час розтягу перпендикулярно до площини плити у разі збільшення вмісту солом'яних частинок свідчить про слабку адгезійну міцність між клеєм і солом'яними частинками; очевидно, що віск покривного шару соломи перешкоджає утворенню зв'язків з цими клеями. Відносно повільніше зменшення межі міцності під час статичного згинання можна пояснити вищим показником відношення довжини до товщини частинок.

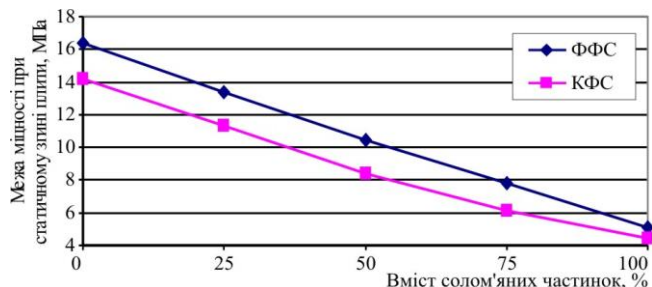


Рис. 3. Вплив вмісту солом'яних частинок на межу міцності під час статичного згинання деревинно-солом'яних плит за різного виду клею

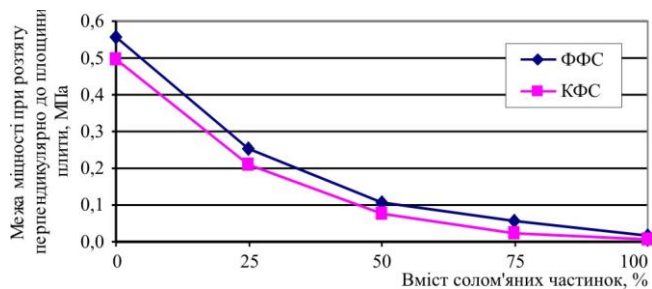


Рис. 4. Вплив вмісту солом'яних частинок на межу міцності під час розтягу перпендикулярно до площини деревинно-солом'яних плит за різного виду клею

Закономірності впливу вмісту солом'яних частинок (P_c , %) на водопоглинання (Δ_W , %), набрякання плит за товщиною (t_W , %) та межу міцності під час статичного згинання (σ_{3z} , МПа) мають лінійний характер, а на межу міцності під час розтягу перпендикулярно до площини плити (σ_t , МПа) – нелінійний:

- використання карбамідоформальдегідного клею:

$$\Delta_W = 0,62 \cdot P_c + 77,02; t_W = 0,47 \cdot P_c + 21,74; \\ \sigma_{3z} = -0,1 \cdot P_c + 13,85; \sigma_t = 0,57 \cdot e^{-0,043 \cdot P_c};$$

- використання фенолоформальдегідного клею:

$$\Delta_W = 0,61 \cdot P_c + 72,56; t_W = 0,47 \cdot P_c + 17,26; \\ \sigma_{3z} = -0,11 \cdot P_c + 16,25; \sigma_t = 0,58 \cdot e^{-0,0335 \cdot P_c}.$$

Деревинно-солом'яні плити на основі фенолоформальдегідного клею мають дещо вищі механічні властивості (рис. 3, 4) та менше

водопоглинання і набрякання (рис. 2), ніж плити на основі карбамідоформальдегідного клею. За вмістом формальдегіду деревинно-солом'яні плити належать до класу емісії E_1 . Вміст формальдегіду у плитах, виготовлених з використанням карбамідоформальдегідного клею КФС-МТ-15,0-9,8 мг/100 г абсолютно сухої плити; фенолоформальдегідного клею Екстер – 5,5 мг/100 г абсолютно сухої плити.

Вплив параметрів режиму пресування на властивості деревинно-солом'яних плит. Встановлено, що температура пресування (130, 150, 170 °C), тривалість пресування (5,14; 6,14; 7,14 хв) і тиск пресування (1,75; 2,25; 2,75 МПа) істотно не впливають на фізико-механічні властивості плит.

Вплив щільності деревинно-солом'яних плит на їхні фізико-механічні властивості. Встановлено, що збільшення щільності підвищує механічні і зменшує фізичні властивості плит, за винятком стабільності їх розмірів під час водопоглинання (рис. 5, 6, 7). Це досить простий спосіб покращення властивостей плит. Не потрібно додаткової кількості клею внаслідок його більш ефективного використання за вищої щільності плит, проте збільшується витрата сировини.

Із збільшенням щільності деревинно-солом'яних плит з 640 до 760 кг/м³ водопоглинання зменшується з 93,5 до 67,1 %. У плитах більшої щільності пористість менша, і тому водопоглинання відбувається в основному внаслідок проникнення води всередину клітин, а останнє відбувається значно повільніше, ніж заповнення пор частинок водою.

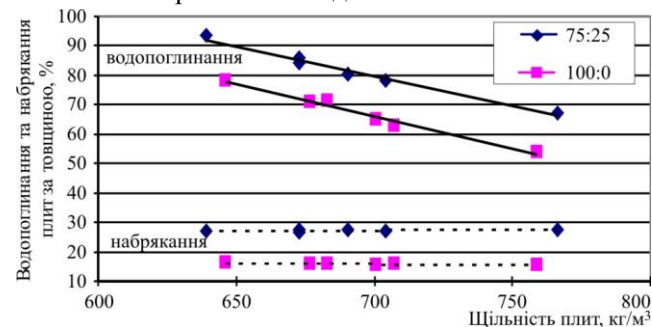


Рис. 5. Вплив щільності плит на їхнє водопоглинання та набрякання за товщиною за різного співвідношення частинок (деревина: солома)

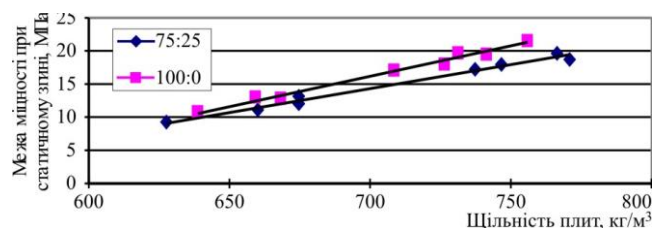


Рис. 6. Вплив щільності плит на їхню межу міцності під час статичного згинання за різного співвідношення частинок (деревина: солома)

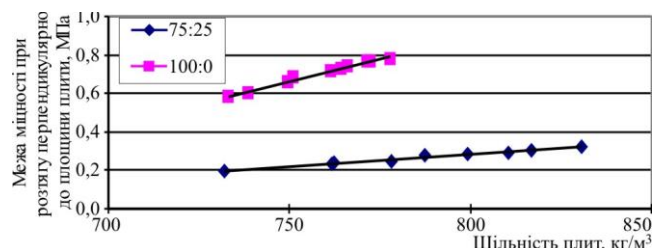


Рис. 7. Вплив щільності плит на їхню межу міцності під час розтягу перпендикулярно до площини плити за різного співвідношення частинок (деревина: солома)

Набрякання за товщиною деревинно-солом'яних плит від їхньої щільності не залежить, внаслідок здатності частинок більше деформуватися і спресовуватися. У разі збільшення щільності плит з 630 до 770 кг/м³ межа міцності під час статичного згинання збільшується з 9,3 до 19,1 МПа, тому що збільшується кількість частинок на одиницю об'єму плити. Зростання межі міцності під час розтягу перпендикулярно до площини плити з 0,197 до 0,324 МПа із збільшенням щільності плит з 730 до 830 кг/м³ пояснюється збільшенням площі контакту частинок внаслідок підвищення стиснення стружкового пакета у разі отримання плит високої щільності.

Межі міцності під час статичного згинання та розтягу перпендикулярно до площини плит, які не містять солом'яних частинок, зростають дещо швидше у разі збільшення щільності плит. Ймовірно позначається загальне зниження міцнісних властивостей у разі додавання до деревинних частинок солом'яних.

Закономірності впливу щільності плит (ρ , кг/м³) на їхні властивості мають лінійний характер:

- за співвідношення частинок (деревина: солома) 75:25:
 $\Delta W = -0,203 \cdot \rho + 221,64$; $\sigma_{32} = 0,072 \cdot \rho - 36,07$;
 $\sigma_t = 0,0013 \cdot \rho - 0,727$;
- за співвідношення частинок (деревина: солома) 100:0:
 $\Delta W = -0,221 \cdot \rho + 220,92$; $\sigma_{32} = 0,09 \cdot \rho - 47,3$;
 $\sigma_t = 0,0046 \cdot \rho - 2,79$.

Висновки. Вперше отримано деревинно-солом'яні плити за технологічною схемою і на обладнанні, прийнятими у виробництві стружкових плит.

Встановлено, що солом'яні частинки довші, але менші за шириною і тонші, ніж деревинні. Насипна щільність солом'яних частинок в 3,7 рази менша, ніж деревинних. Під час подрібнювання на стружковому верстаті фрезерного типу солом'яних частинок фракції 10/0 одержують на 12,3 % більше, ніж під час подрібнення на стружковому верстаті з ножовим валом, що можна пояснити кращим подрібненням тюків соломи на верстаті фрезерного типу, який не потребує додаткових пристроїв для подачі тюків соломи. Відповідно, вищі властивості солом'яних плит, які виготовлені з солом'яних частинок, одержаних на стружковому верстаті фрезерного типу.

За вмістом формальдегіду деревинно-солом'яні плити належать до класу емісії Е1. Використання фенолоформальдегідного клею порівняно з карбамідоформальдегідним на фізичні властивості плит істотно не впливає, а механічні властивості покращує.

Для виготовлення деревинно-солом'яних плит, у разі додавання до деревинних частинок до 25 % солом'яних, можна рекомендувати такі параметри режиму пресування плит: температура – 170 °С, тривалість – 6,14 хв, тиск – 2,25 МПа.

На основі результатів експериментальних досліджень запропоновано способи виготовлення стружкових плит з використанням соломи, які дають змогу розширити сировинну базу для їх виготовлення, завдяки залученню відходів сільськогосподарського виробництва, а саме пшеничної соломи [3-5]. Її використання може допомогти зменшити темп знеліснення і надати виробникам змогу виробляти деревинні плити, навіть якщо деревина стане дефіцитною.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бехта П.А. Деревинно-солом'яні плити: проблеми і можливості / П.А. Бехта // Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2007. – Вип. 5. – С. 127-130.
2. Салабай Р.Г. Критерії оцінки якості деревинно-солом'яних плит / Р.Г. Салабай // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.5. – С. 85-90.
3. Патент на корисну модель № 21438, Україна, МПК В 27 № 3/00. Спосіб виготовлення стружкових плит з використанням соломи / Бехта П.А., Салабай Р.Г.; власник Національний лісотехнічний університет України. – Номер заявки у 2006 10407; заявл. 02.10.2006; опубл. 15.03.2007, Бюл. № 3.
4. Патент на корисну модель № 21441, Україна, МПК В 27 N 3/00. Спосіб виготовлення стружкових плит / Бехта П.А., Салабай Р.Г.; власник Національний лісотехнічний університет України. – Номер заявки у 2006 10411; заявл. 02.10.2006; опубл. 15.03.2007, Бюл. № 3.
5. Патент на корисну модель № 37811, Україна, МПК В 27 N 3/00. Спосіб виготовлення деревинно-солом'яних плит / Бехта П.А., Салабай Р.Г.; власник Національний лісотехнічний університет України. – Номер заявки у 2008 08623; заявл. 01.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23.

P. A. Bekhta, R. G. Salabay

THE MECHANISM OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS INFLUENCE ON THE PROPERTIES OF WOOD-STRAW BOARDS

The mechanism of influence of the raw material composition, types of glue as well as pressing parameters upon physical and mechanical properties of wood-straw boards (which were made after the production methods commonly accepted in manufacturing wood particleboards) are described. The regression dependence of water absorption, thickness swelling, bending strength and transverse tensile strength of wood-straw boards on the following factors: the content of straw particles in different types of glue, which can be used in the technological calculations pertaining to the manufacture of wood-straw boards are given. The size and fractional composition of the ground straw particles are given. The mechanism of influence of the density wood-straw boards upon physical and mechanical properties of wood-straw boards are analysed. The pressing parameters for manufacturing wood-straw boards are proposed.

