

впливає на величину напружень як на поверхні, так і в центрі, зміна відносної вологості агента (рис. 5-6), зміна температури призводить до незначної зміни напружень (рис. 2-3), а швидкість руху агента істотно змінює величину напружень на поверхні (рис. 9) та фактично не впливає в центрі (рис. 8). З плином часу, в регулярному періоді видалення вологи, при зміні відносної вологості згадана вище зміна напружень зменшується (рис. 5-6), зі зміною ж температури та швидкості руху агента – зростає різниця між напруженнями (рис. 2-3, 8-9).

Література

1. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П., Дендюк М.В. Застосування методу кінцевих елементів для розрахунку нестационарних полів вологоперенесення у висушуваній деревині// Лісове госп-во, лісова, паперова і д/о пром-сть// Наук. вісн. УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2003, вип. 28. – С. 100-106.
2. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П., Дендюк М.В., Кулешник Я.Ф. Численное моделирование методом конечных элементов полей влажности древесины с учетом анизотропии ее свойств// Лесной комплекс: состояние и перспективы развития// Сб. научн. трудов. – Брянск: БГИТА. – 2003, вып. 6. – С. 71-75.
3. Соколовський Я.І., Бакалець А. Моделювання нелінійних тепломасообмінних процесів у висушуваній деревині методом скінченних елементів// Вісник НУ "ЛП": Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів: НУ "Львівська політехніка". – 2005, вип. 543. – С. 129-134.
4. Соколовський Я.І., Поберейко Б.П., Дендюк М.В. Моделювання деформаційно-релаксацийних процесів у деревині під час сушіння// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2004, вип. 14.1. – С. 48-57.
5. Дендюк М.В., Соколовський Я.І. Вплив геометричних розмірів пиломатеріалів на напружено-деформівний стан у процесі їх сушіння// Наук. вісник НЛТУУ// Наук. вісн. УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2006, вип. 16.2. – С. 125-133.
6. Серговський П.С., Рассев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 360 с.
7. Билей П.В. Сушка древесины твердых лиственных пород. Изд. второе. – М.: Экология. – 2002. – 224 с.
8. Серговський П.С. Гидротермическая обработка древесины. – М.: Гослесбумиздат, 1975. – 400 с.
9. Дендюк М.В. Визначення реологічних параметрів деревини// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2005, вип. 15.3. – С. 124-129.

УДК 674.02:621.923

Доц. О.А. Кійко, канд. техн. наук – НЛТУ України

ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ БРАКУ ЗАСОБАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА З ВИКОРИСТАННЯМ КОНЦЕПЦІЇ "ШІСТЬ СИГМА" У ПРОЦЕСІ КАЛІБРУВАННЯ-ШЛІФУВАННЯ ДСП

Встановлено математичну залежність для визначення середнього квадратичного відхилення товщини ДСП у процесі калібрування-шліфування плитних деревних матеріалів жорсткими абразивним циліндром. Окреслено шляхи зменшення кількості плит, що не відповідають вимогам за товщиною.

Assist. prof. O.A. Kyiko – NUFWT of Ukraine, L'viv

Ways of diminishing of amount of shortage by facilities of imitation design and with the use of conception "six sigma" in the process of calibration-polishing of particle board

Mathematical dependence for determination of standard deviation of thickness of particle board in the process of calibration-polishing of wooden board materials by hard

abrasive cylinder is set. The ways of diminishing of amount of flags which do not respond to request after a thickness are outlined.

Товщина плитних деревних матеріалів повинна мати обмежені відхилення (табл. 1) з метою можливості використання цих матеріалів для потреб меблевої й деревообробної галузей. Якщо товщина плити не відповідає вимогам стандарту, то така плита вважається бракованою. Для забезпечення відповідного відхилення за товщиною плитні деревні матеріали калібрують за допомогою, зазвичай, абразивного інструмента.

На початку 80-х років минулого сторіччя з'явилася концепція "Шість сигм" завдяки програмі боротьби з дефектами шляхом зниження варіабельності процесів, і піонерами в цій області були виробничі підприємства. Наприкінці 90-х "Шість сигм" поступово взяли на озброєння сервісні компанії. Згідно з цією концепцією, будь-який процес може бути представлено у вигляді математичної моделі, де основними параметрами результату процесу є середнє значення й стандартне відхилення. Параметр середнє значення відповідає на запитання, як працює процес у середньому й позначається символом μ . Стандартне відхилення показує ступінь варіабельності результату процесу й позначається символом σ . Якщо для процесу встановлено деякі контрольні межі, вихід за які результати процесу вважається небажаною подією, то чим більше сигм процесу вміщається між середнім значенням і найближчою контрольною межею, тим менше дефектів має процес. Рівень роботи процесу визначається кількістю сигм, що укладаються у заданий інтервал. Чим менше значення стандартного відхилення, тим стабільніший і кращий результат (за умови, що середнє значення близьке до цільового значення). Зі статистичного обґрунтування відомо, що при рівні процесу 4,5 сигм, з мільйона одиниць продукції, дефектів буде не більше 3,4, і цю умову виконують для стабільних процесів. Насправді ж умови чи поводження процесів можуть мінятися, згодом, через рік, впродовж однієї доби й т.п. Ґрунтуючись на емпіричних даних, дослідники прийшли до висновку, що відхилення процесу, викликані його природною нестабільністю, дають відхилення якості на рівні 1,5 сигма. Таким чином, якщо цільовий рівень якості становить 4,5 сигма (3,4 дефекти на мільйон можливостей), то з урахуванням перестраховки 1,5 сигма на відхилення, необхідно забезпечувати рівень якості 6 сигм (табл. 2).

Таким чином, основна мета підходу "6 σ " полягає у тому, щоби здійснювати всі процеси у такий спосіб, за якого для будь-яких параметрів процесу індекс відтворюваності C_p дорівнював або перевищував 2 (табл. 3):

$$C_p = \frac{BMД(USL) - НМД(LSL)}{6 \cdot \sigma}, \quad (1)$$

де: BMД(USL) – верхня межа поля допуску; НМД(LSL) – нижня межа поля допуску; 6 σ – існуючі межі варіації випадкової величини за умови відповідності емпіричного розподілу нормальному.

З метою визначення рівня сигм у процесі калібрування-шліфування деревностружкових плит жорстким абразивним інструментом нами на основі імітаційного моделювання отримано рівняння регресії, яке визначає залежність величини середнього квадратичного відхилення товщини ДСП $S_{по}(H)$

(Y) після дворазового абразивного оброблення двома шліфувальними агрегатами, кожний з яких складається з двох опозитно розміщених циліндрів від середньої товщини плити до початку калібрування-шліфування $H(X_1)$, середнього квадратичного відхилення товщини ДСП до здійснення процесу абразивного оброблення $S(H)$ (X_2), налагоджувальних товщин першого H_{n1} (X_3) та другого H_{n2} (X_4) шліфувальних агрегатів, швидкості різання V (X_5), швидкості подачі V_s (X_6), зернистості циліндрів першого K_{z1} (X_7) та другого K_{z2} (X_8) шліфувальних агрегатів, твердості циліндрів також відповідно до першого H_{c1} (X_9) та до другого H_{c2} (X_{10}) агрегатів:

$$Y = 0,022906 + 0,019104 \cdot X_2 + 0,005684 \cdot X_3 + 0,000626 \cdot X_4 + 0,000402 \cdot X_5 + \\ + 0,001111 \cdot X_1 \cdot X_7 + 0,005827 \cdot X_1 \cdot X_8 + 0,005524 \cdot X_1 \cdot X_9 + 0,003415 \cdot X_2 \cdot X_3 + \\ + 0,006294 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,002236 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,001117 \cdot X_2 \cdot X_{10} + 0,000076 \cdot X_3 \cdot X_4 + \\ + 0,003242 \cdot X_3 \cdot X_5 + 0,003042 \cdot X_4 \cdot X_5 + 0,006210 \cdot X_4 \cdot X_{10} + 0,006197 \cdot X_5 \cdot X_{10} + \quad (2) \\ + 0,003884 \cdot X_6 \cdot X_7 + 0,000088 \cdot X_6 \cdot X_8 + 0,003744 \cdot X_6 \cdot X_9 + 0,006157 \cdot X_7 \cdot X_8 + \\ + 0,003042 \cdot X_7 \cdot X_9 + 0,002905 \cdot X_8 \cdot X_9 + 0,005983 \cdot X_1^2 + 0,005930 \cdot X_2^2 + \\ + 0,004027 \cdot X_3^2 + 0,001617 \cdot X_4^2 + 0,002049 \cdot X_5^2 + 0,001820 \cdot X_6^2.$$

На рис. 1 представлено графічну залежність середнього квадратичного відхилення товщини плити після абразивного оброблення $S_{по}$ від середньої товщини плити H і середнього квадратичного відхилення товщини плити $S(H)$ до початку процесу калібрування-шліфування жорсткими абразивними циліндрами. Згідно з рис. 1, збільшення розсіювання товщини плити до оброблення спричиняє збільшення аналогічного розсіювання товщини плити після оброблення.

Табл. 1. Вимоги до плитних деревних матеріалів згідно з національними стандартами [1]

Країна-виробник Позначення національного стандарту	Марка плит	Показники		
		щільність, кг/м ³	клас емісії формальдегіду	граничні відхилення за товщиною, мм
1	2	3	4	5
Деревностружкові плити				
Україна ТУ У 20.2.311 479-001-2002	П-1	550-820	Е1, Е2	±0,2
	П-2			±0,3
Росія ГОСТ 10632	П-1	550-820	Е1, Е2	±0,3
	П-2			
Німеччина DIN 68761/1	FPO	450-750	Е1	±0,3
	FPY			
США FNSI A 208.1	1-M-1	Не більше 800	Не > Е2	±0,25
	1-M-2			
	1-M-3			
Канада CAN 3-01881	R	-	-	±0,25
	S	-	-	
	T	-	-	
Швеція SIS 23 48 01P	1	550-750	Е1	±0,2
	2			
	3			

1	2	3	4	5
Австрія ONORM B 3002	FPO FPY	540-750	E1, E2	±0,3
Японія JAS A 5908	200u	660-870	E1	±0,3
	150u			
	100u			
Чехія і Словаччина CSN 492614	S	770-820	E1, E2	±0,3
	T			
	N			
Польща PN-EN 312-3		450-750	E1, E2	±0,3
Плити деревноволокнисті середньої щільності (MDF)				
Стандарти Європейської Асоціації виробників MDF EMB/1S-П EMB/1S-III		600-900	E1, E2	±0,2
Росія Проект ГОСТ Р "Плити деревно-волокнисті середньої щільності"	A B	760-860	E1, E2	±0,2

Табл. 2. Таблиця перерахування відсотка продукту в межах специфікації у сигма рівні із врахуванням 1,5 сигма зміщення і кількості дефектів на мільйон можливостей

Відсоток продукту в межах специфікації	Сигма рівні	Кількість дефектів на мільйон можливостей	Відсоток продукту в межах специфікації	Сигма рівні	Кількість дефектів на мільйон можливостей
99,9997	6,00	3,4	93,3200	3,00	66800
99,9995	5,92	5	91,9200	2,90	80800
99,9992	5,81	8	90,3200	2,80	96800
99,9990	5,76	10	88,5000	2,70	115000
99,9980	5,61	20	86,5000	2,60	135000
99,9970	5,51	30	84,2000	2,50	158000
99,9960	5,44	40	81,6000	2,40	184000
99,9930	5,31	70	78,8000	2,30	212000
99,9900	5,22	100	75,8000	2,20	242000
99,9850	5,12	150	72,6000	2,10	274000
99,9770	5,00	230	69,2000	2,00	308000
99,9670	4,91	330	65,6000	1,90	344000
99,9520	4,80	480	61,8000	1,80	382000
99,9320	4,70	680	58,0000	1,70	420000
99,9040	4,60	960	54,0000	1,60	460000
99,8650	4,50	1350	50,0000	1,50	500000
99,8140	4,40	1860	46,0000	1,40	540000
99,7450	4,30	2550	43,0000	1,32	570000
99,6540	4,20	3460	39,0000	1,22	610000
99,5340	4,10	4660	35,0000	1,11	650000
99,3790	4,00	6210	31,0000	1,00	690000
99,1810	3,90	8190	28,0000	0,92	720000
98,9300	3,80	10700	25,0000	0,83	750000
98,6100	3,70	13900	22,0000	0,73	780000
98,2200	3,60	17800	19,0000	0,62	810000
97,7300	3,50	22700	16,0000	0,51	840000
97,1300	3,40	28700	14,0000	0,42	860000
96,4100	3,30	35900	12,0000	0,33	880000
95,5400	3,20	44600	10,0000	0,22	900000
94,5200	3,10	54800	8,0000	0,09	920000

Табл. 3. Залежність конкурентоспроможності від якості продукції [2, 3]

Число сигм	Кількість дефектів на мільйон можливостей	Витрати від неналежної якості, % від обсягу продажу	Рівень конкурентно- спроможності
6	3,4	<10	Найвищий
5	233	10...15	Високий
4	6210	15...20	Середній
3	66807	20...30	Поганий
2	308537	30...40	Незадовільний
1	690000	>40	Банкрутство

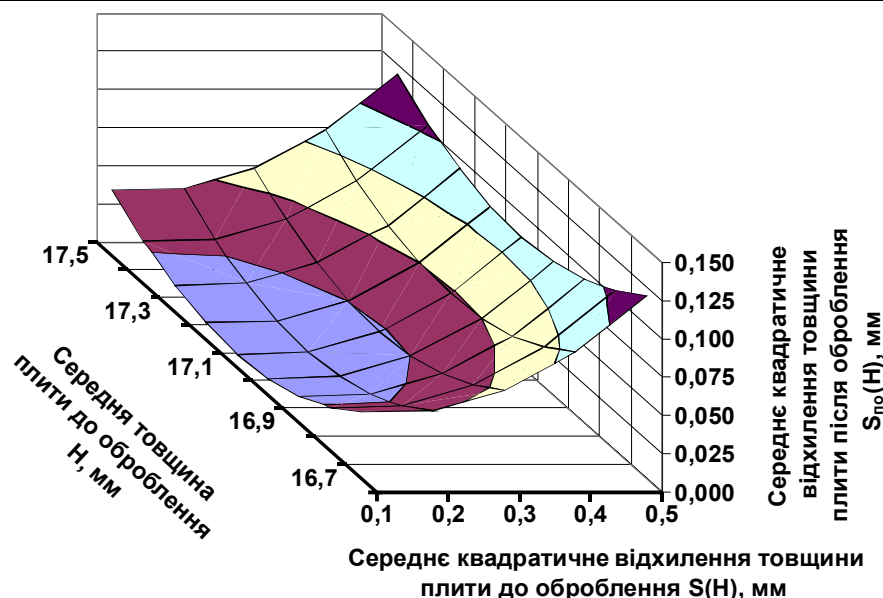


Рис. 1. Залежність середнього квадратичного відхилення товщини ДСП після дворазового калібрування-шліфування абразивними циліндрами $S_{po}(H)$ від середньої товщини плити після пресування H і середнього квадратичного відхилення товщини плити $S(H)$ до оброблення: налагоджувальна товщини першого агрегату $H_{H1} = 16,45$ мм; налагоджувальна товщини другого агрегату $H_{H2} = 15,95$ мм; швидкість подачі $V_s = 20,5$ м/хв., швидкість різання $V = 24$ м/с; твердість абразивних інструментів: $H_{Ц1} = H_{Ц2} = 245$ МПа; коефіцієнт зернистості абразивних циліндрів: $K_{Z1} = 0,3$; $K_{Z2} = 0,3$

Сутність цього явища стає зрозуміла з рис. 2. Якщо, припустити, що налагоджувальна товщина калібрування-шліфування $H_n = 16,45$ мм, то у процесі абразивного оброблення плити із значним розсіюванням товщини відбувається "сумування" відхилень – розсіювання товщини плити до оброблення не може бути ліквідоване на 100 %, але, окрім цього, виникає ще одне розсіювання через пружні відтиски та змінність величини товщини шару, який знімається з оброблюваної поверхні.

Середня товщина плити до початку процесу калібрування здійснює нелінійний вплив на величину середнього квадратичного відхилення товщини плити після абразивного оброблення – якщо $H = 17,5$ мм (максимальне значення з інтервалу варіювання) і $H = 16,1$ мм (мінімальне значення з інтервалу варіювання), то величина S_{po} є максимальною, а якщо величину H зафіксувати у середині інтервалу варіювання ($H = 16,7$ мм), то величина $S_{po} \rightarrow \min$ (рис. 2). У випадку із мінімальною середньою товщиною значення має те, що розподіл випадкової величини, зміщений у бік від'ємних значень, спричиняє неспроможність зішліфувування шару необхідної товщини для усунення іс-

нуючого розсіювання (рис. 3). Зміщення розподілу у напрямку додатних значень спричиняє максимальну величину глибини калібрування-шліфування, що по-своєму внаслідок збільшених пружних відтискань призводить також до появи істотного розсіювання. (рис. 3). Варіант, коли $H=16,7$ мм можна вважати найбільш сприятливим, оскільки саме тут відсутні негативні причини збільшення $S_{\text{по}}$, проаналізовані вище (рис. 3).

$f(H)$

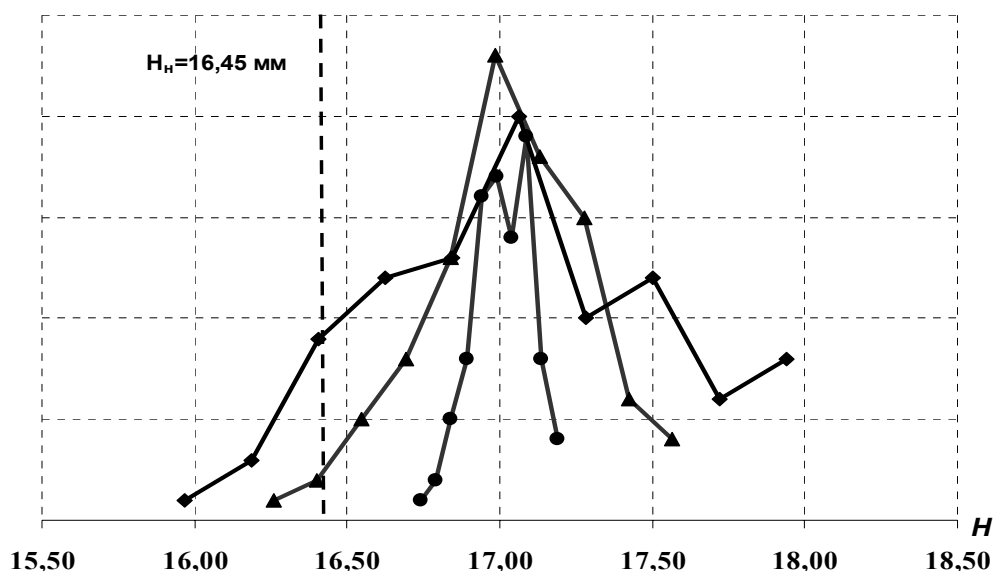


Рис. 2. Залежність частоти появи випадкової величини товщини ДСП після калібрування-шліфування від її значення для різних значень середнього квадратичного відхилення товщини плити до початку процесу оброблення $S(H)$:
 —■— $S(H)=0,5$ мм; —▲— $S(H)=0,3$ мм; —●— $S(H)=0,1$ мм; середня товщина плити до оброблення $H=17,0$ мм

$f(H)$

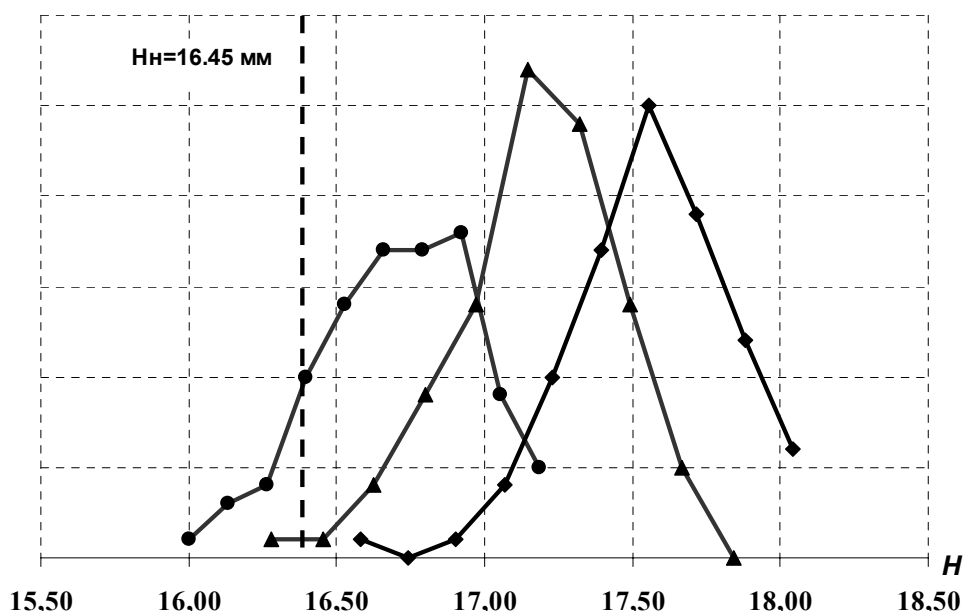


Рис. 3. Залежність частоти появи випадкової величини товщини ДСП після калібрування-шліфування від її значення для різних значень середньої товщини плити до початку процесу оброблення: —■— $H=17,5$ мм; —▲— $H=17,1$ мм; —●— $H=16,7$ мм; середнє квадратичне відхилення товщини плити до оброблення $S(H)=0,3$ мм

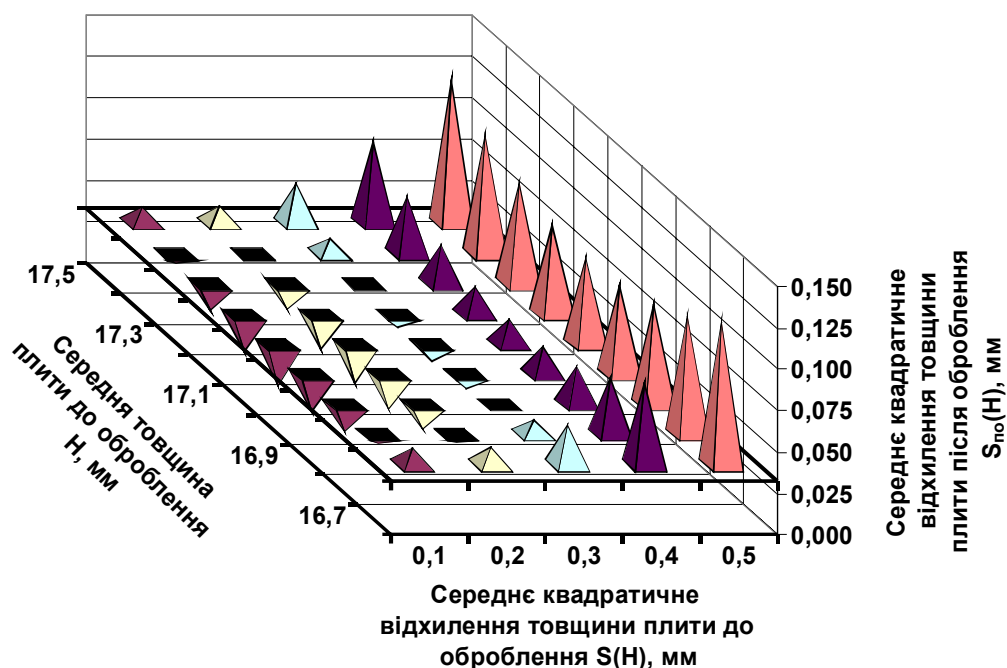


Рис. 4. Залежність середнього квадратичного відхилення товщини ДСП після дворазового калібрування-шліфування абразивними циліндрами $S_{no}(H)$ від середньої товщини плити після пресування H і середнього квадратичного відхилення товщини плити $S(H)$ до оброблення: налагоджувальна товщини першого агрегату $H_{H1}=16,45$ мм; налагоджувальна товщини другого агрегату $H_{H2}=15,95$ мм; швидкість подачі $V_s=20,5$ м/хв., швидкість різання $V=24$ м/с; твердість абразивних інструментів: $H_{Ц1}=H_{Ц2}=245$ МПа; коефіцієнт зернистості абразивних циліндрів: $K_{Z1}=0,3$; $K_{Z2}=0,3$ (шість "сигма").

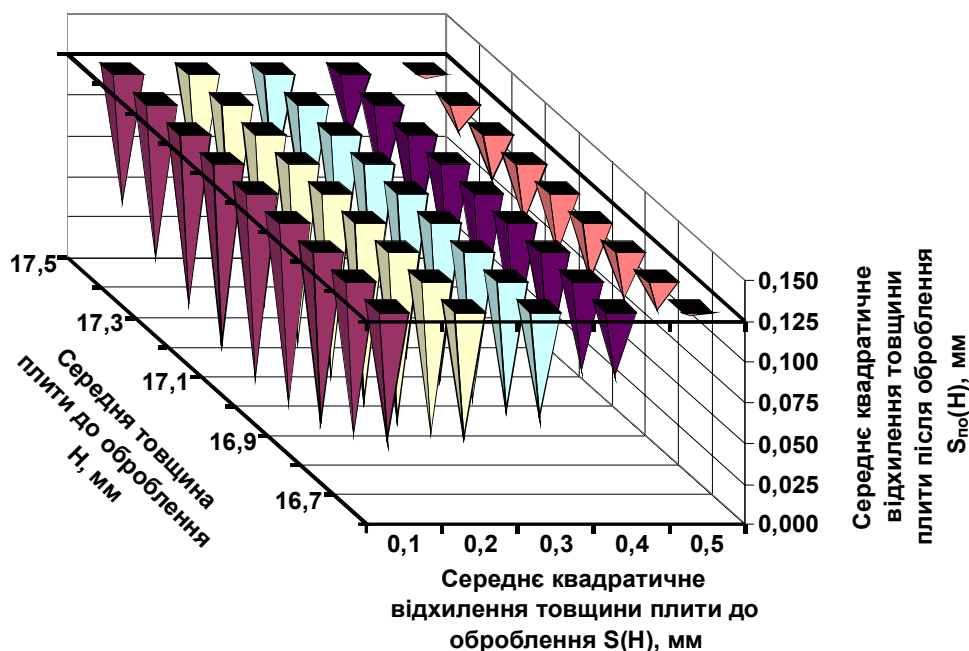


Рис. 5. Залежність середнього квадратичного відхилення товщини ДСП після дворазового калібрування-шліфування абразивними циліндрами $S_{no}(H)$ від середньої товщини плити після пресування H і середнього квадратичного відхилення товщини плити $S(H)$ до оброблення: налагоджувальна товщини першого агрегату $H_{H1}=16,45$ мм; налагоджувальна товщини другого агрегату $H_{H2}=15,95$ мм; швидкість подачі $V_s=20,5$ м/хв., швидкість різання $V=24$ м/с; твердість абразивних інструментів: $H_{Ц1}=H_{Ц2}=245$ МПа; коефіцієнт зернистості абразивних циліндрів: $K_{Z1}=0,3$; $K_{Z2}=0,3$ (1,6 "сигма")

Якщо згідно з даними табл. 1, прийняти величину поля допуску для товщини неличкованої деревностружкової плити 0,4 мм ($\pm 0,2$ мм), то для забезпечення величини індексу відтворюваності $C_p = 2$, необхідно зафіксувати величину середнього квадратичного відхилення після калібрування-шліфування $S_{по} = 0,033$ мм. Саме за умови дотримання такого розсіювання можна прогнозувати роботу, при якій виникає 3,4 дефекти на мільйон можливостей. Згідно з рис. 4, цей ефект досягається для певних значень інтервалів варіювання величин H і $S(H)$.

Якщо підприємство із виготовлення ДСП працюватиме із середньою товщиною плити до оброблення $H = 16,7 \dots 17,5$ мм і аналогічним показником середнього квадратичного відхилення $S(H) = 0,1 \dots 0,5$ мм, то можна прогнозувати ефективність роботи на рівні 1,6 "сигма", тобто із 460 000 плит із мільйону можливих не відповідатимуть встановленим нормативним вимогам за товщиною (рис. 5).

Висновки

У результаті дослідження нами встановлено, що для зменшення кількості дефектів на мільйон можливостей у процесі здійснення процесу калібрування-шліфування ДСП жорсткими абразивними циліндрами необхідно:

- зменшувати величину середнього квадратичного відхилення товщини плити після пресування (до початку процесу абразивного оброблення);
- фіксувати середню величину товщини плити до калібрування-шліфування в інтервалі $H = 16,9 \dots 17,3$ мм.

Література

1. Бардонов В.А. Техническое регулирование – правовое регулирование отношений// Журнал для специалистов мебельной промышленности "Фабрика мебели". <http://www.fabrikam.ru/techreg.php>.
2. Захожай В.Б., Чорний А.Ю. Статистичне управління якістю: Навч. пос. – К.: Центр навчальної літератури. – 2005. – 340 с.
3. Джордж Л. Майкл. Бережливое производство + шесть сигм: Комбинируя качество шести сигм со скоростью бережливого производства./ Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс. – 2006. – 360 с.

УДК 004.94

Доц. С.А. Лупенко, канд. техн. наук;

аспір. А.М. Луцків – Тернопільський державний технічний університет

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ НА ЕОМ

Розглядаються методи комп'ютерного моделювання циклічних випадкових процесів, що належать до класу циклічних функцій. Вперше розроблено методи імітаційного моделювання циклічного білого шуму, процесу із незалежними циклічними приростами та Марковського циклічного випадкового процесу. Наведено приклади імітаційного моделювання дискретного циклічного білого шуму та процесу із незалежними циклічними приростами.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, циклічні випадкові процеси, циклічний білий шум, процеси із незалежними циклічними приростами, марковські циклічні процеси.