

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ І СТАБІЛЬНОСТІ РОБОТИ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ У ДЕРЕВООБРОБЦІ

Розглянуто застосування сучасних методів визначення надійності устаткування з метою підвищення ефективності функціонування автоматичних ліній на деревообробних підприємствах. Проаналізовано вплив надійності обладнання на стабільність технологічних операцій. Зниження надійності зумовлює значне зниження фактичної продуктивності автоматичних ліній. Підвищення надійності автоматичних ліній виконують за допомогою розроблення оптимальних схем компонування обладнання, структурно-параметричної оптимізації і резервування. Встановлено, що аналіз надійності автоматичних ліній дає змогу оцінити надійність виробничої системи та її елементів з урахуванням стратегії технічного обслуговування і ремонтів, а також впливу зовнішнього середовища. Розв'язання таких завдань здійснюють за допомогою використання кількісних методів дослідження надійності. Для проектування автоматичних ліній здійснюють порівняння різних варіантів об'єктів досліджень та їх обґрунтування. Аналізуючи надійність складних систем враховують обґрунтованість моделей, реальність одержуваних результатів, адекватність і точність моделей, простоту і зручність отримання результатів, а також об'єми завдань визначення кількісних показників надійності. Виконані дослідження дають можливість підтвердити, що надійність технологічного устаткування значно впливає на фактичну продуктивність автоматичної лінії та її ефективність у цілому. Дисперсія інтервалів випуску продукції залежить від впливу часу періоду безвідмовної роботи технологічного устаткування і часу відновлення його працездатності та ремонтів. Значне зростання дисперсії інтервалу випуску при зниженні надійності верстатів в автоматичній лінії зумовлює інтенсивне зменшення коефіцієнта стабільності та ефективності функціонування технологічної лінії. Коефіцієнт стабільності устаткування знижується із зменшенням його коефіцієнта готовності.

Ключові слова: надійність устаткування; параметр Ерланга; імітаційне моделювання; структурно-параметрична оптимізація ліній.

Вступ. Завдання аналізу надійності автоматичних ліній, головною метою якого є встановлення оцінок надійності виробничої системи та її складових частин з урахуванням стратегії технічного обслуговування і ремонту, впливу навколишнього середовища та інших факторів, розв'язують за допомогою використання кількісних методів дослідження надійності. Під час проектування технічних рішень здійснюють порівняння різних варіантів об'єктів досліджень та їх обґрунтування. При виборі методів аналізу надійності складних технічних систем слід враховувати: обґрунтованість прийнятих моделей та припущень, залежність від них одержуваних результатів; адекватність і точність моделей; простоту і зручність отримання результатів; об'єм завдань визначення кількісних показників надійності, які розв'язуються цим методом. Відповідність рівня надійності автоматичної лінії доцільно визначати у тих випадках, коли об'єкт має високі значення показників безвідмовності та довговічності та складну функціональну структуру. Зміст аналізу надійності та його обсяг залежать від етапу життєвого циклу об'єкта дослідження та глибини відпрацювання його стану. Внаслідок періодичного аналізу визначаються та прогнозуються межі виникнення проблем невідповідностей, а також проведення коригувальних заходів впливу, які забезпечують відповідність рівня надійності автоматичної лінії до встановлених вимог [1]. Трамбування явищ надійності автоматичних ліній деревообробки з позицій фізичного зношування устаткування і накопичування пошкоджень є недостатнім. В автоматичних лініях відмови впливають на технологічну надійність через випадковий характер розмірів заготовок та певних їх характеристик, а також параметрів верстатів, робочих вузлів та стану інструментів. Одними з найважливіших факторів порушення заданих умов взаємодії між механізма-

¹ Оріховський Роман Ярославович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-278-13-68. E-mail: romanorix9@gmail.com

ми, інструментами і заготівками є не тільки шкідливі впливи на обладнання, які утворюються у процесі його тривалої експлуатації та зношування, але й циклічна нестабільність параметрів його функціонування, яка проявляється найбільше під час обробки вживаної деревини [4-23].

Значні втрати часу роботи технологічного устаткування зумовлюються ненадійністю техніки, недоліками в організації роботи та факторами зовнішнього впливу. На відновлення нормального процесу функціонування автоматичної лінії витрачається час відновлення. Витрати часу на відновлення нормальної роботи устаткування будуть збільшувати тривалість інтервалів випуску та знижувати фактичну продуктивність автоматичної лінії [2]. У процесі функціонування лінії відбувається чергування двох різних періодів, а саме періодів безперебійної роботи устаткування t_n та періодів відновлення їх робочого стану t_v .

Ефективність використання устаткування в автоматичній лінії оцінюється коефіцієнтом готовності

$$K_G = \frac{\overline{t_H}}{\overline{t_H} + \overline{t_B}} \quad (1)$$

Фактичні показники надійності автоматичних ліній визначаються за допомогою реальних спостережень та математично опрацьованих їх результатів. Стабільність функціонування автоматичних ліній характеризується параметром Ерланга K (2). Параметр Ерланга K для інтервалу випуску залежить в першу чергу від параметра стабільності тривалості циклу K_u і коефіцієнта готовності машини K_G . Залежність параметра Ерланга для інтервалу випуску автоматичної лінії від коефіцієнта готовності описується за допомогою формули (2)

$$K_{IB} = \frac{\overline{t_{IB}}^2}{D_{IB}} = \frac{\overline{t_u}^2 / K_G^2}{D_u + \overline{t_u}^2 \left(\frac{1}{K_G} - 1 \right)^2 \left(2 \frac{\overline{t_H}}{\overline{t_u}} - 1 \right)} = \left[\frac{K_G^2}{K_u} + \left(2 \frac{\overline{t_H}}{\overline{t_u}} - 1 \right) (1 - K_G)^2 \right]^{-1} \quad (2)$$

Для підтвердження достовірності отриманих аналітичних розв'язків та апробації алгоритмів моделювання проводять кібернетичний експеримент [3]. За допомогою спеціального алгоритму на комп'ютері моделюється функціонування лінії. Співвідношення тривалості часу напрацювання t_n і часу відновлення t_v задається *коефіцієнтом готовності* K_G . Величини тривалості часу напрацювання і часу відновлення залежать від технологічного обладнання, його стану, організації обслуговування, рівня організації роботи та інших чинників. В експерименті ми користувались відносними величинами часу напрацювання $\overline{t_H}/\overline{t_u}$ і часу відновлення $\overline{t_B}/\overline{t_u}$. Тривалості технологічних операцій у деревообробці змінюються у широкому діапазоні – від кількох секунд до кількох хвилин. Параметр Ерланга змінюється від 1 до 100. Результати досліджень кібернетичного експерименту подаються в табл. 1. Результати імітаційного моделювання для прогнозування надійності ліній підтверджують, що середнє значення тривалості інтервалів випуску продукції визначається величиною циклу та коефіцієнтом готовності (1).

Таблиця 1. Дисперсія інтервалів випуску за даними кібернетичного експерименту для різного часу напрацювання t_n і коефіцієнта готовності K_G

$\overline{t_H}/\overline{t_u}$	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95
10	19.05	8.04	3.53	1.29	0.33	0.15
20	33.33	13.87	6.01	2.17	0.50	0.20
40	80.00	33.41	17.04	5.58	1.10	0.33
60	91.17	49.56	20.58	6.25	1.46	0.36
80	103.06	50.19	27.04	7.80	1.50	0.41
100	200.10	67.87	34.08	11.16	1.96	0.55
160	409.00	79.20	51.12	15.63	2.76	0.71
200	461.00	142.60	67.23	19.53	3.99	0.96
400	571.00	310.63	85.20	26.04	6.35	1.02
600	721.19	232.39	96.00	32.62	8.39	1.53
800	834.27	371.87	136.33	43.40	10.03	2.09
1000	1452.04	512.43	211.57	72.14	14.35	3.39

Інший характер залежностей спостерігається при постійній величині коефіцієнта готовності, тобто за стабільної надійності верстатів (табл. 2).

Таблиця 2. Дисперсія інтервалів випуску для різного часу відновлення t_b і коефіцієнта готовності K_r

$\bar{t}_B / \bar{t}_U$	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95
0.5	1.19	0.99	0.64	0.40	0.19	0.15
1.0	2.44	1.34	1.05	0.67	0.35	0.18
2.0	4.40	3.34	1.88	1.12	0.49	0.33
4.0	8.33	4.59	3.53	1.78	0.88	0.47
6.0	11.23	8.53	4.84	3.70	1.38	0.49
8.0	13.90	11.37	6.47	4.23	1.52	0.64
10.0	22.42	13.77	8.67	7.01	1.78	0.85

Величина дисперсії інтервалу випуску прямопропорційна відноській величині часу напрацювання незалежно від величини коефіцієнта готовності. Особливо різко знижується параметр Ерланга K із зменшенням коефіцієнта готовності K_r (табл. 3). На дисперсію інтервалів випуску впливає тривалість роботи устаткування і час відновлення його працездатності.

Таблиця 3. Вплив часу напрацювання на параметр Ерланга K_r

$\bar{t}_H / \bar{t}_U$	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95
10	0.21	0.30	0.58	1.21	3.60	7.21
20	0.12	0.20	0.34	0.72	2.40	5.41
40	0.05	0.10	0.12	0.55	1.90	3.27
60	—	0.05	0.08	0.30	1.10	2.67
80	—	—	—	0.28	0.80	1.96
100	—	—	—	0.14	0.60	1.70
160	—	—	—	0.10	0.30	1.53
200	—	—	—	0.08	0.10	1.13
400	—	—	—	—	—	1.06

Зменшення надійності устаткування призводить до зростання дисперсії. Зростання дисперсії інтервалу випуску зі зниженням надійності верстатів у лінії приводить до інтенсивного зменшення параметра Ерланга K . Таким чином важливе значення має впорядкування стабільності тривалості циклу верстатів у лінії.

Виконані за допомогою імітаційних моделей дослідження прогнозування надійності автоматичних ліній дають можливість сформулювати такі **висновки**: надійність технологічного устаткування значно впливає на фактичну продуктивність автоматичної лінії та її ефективність; на дисперсію інтервалів випуску має вплив часу періоду безвідмовної роботи технологічного устаткування і часу відновлення його працездатності; значне зростання дисперсії інтервалу випуску при зниженні надійності верстатів у лінії зумовлює інтенсивне зменшення коефіцієнта стабільності; коефіцієнт стабільності устаткування знижується із зменшенням коефіцієнта готовності; підвищення надійності ліній здійснюють за допомогою розроблення оптимальних схем компонування обладнання, структурно-параметричної оптимізації та резервування.

Література

1. DSTU 3004-95. *Nadiynist tekhniky. Metody otsinky pokaznykiv nadiynosti za eksperymentalnymy danymy* [Dependability of technics. Methods of estimation dependability by operating data]. – Kyiv: State Standard, (in Ukrainian).
2. Dudyuk D.L., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya., Orikhovsky R.Ya. et al. (1996): *Imitatsiynе modelyuvannya hnuchkykh avtomatyzovanykh liniy u lisovyrobnychomu kompleksi* [Simulation modeling of flexible automated lines in the forestry complex]. – Kyiv. – 140 p., (in Ukrainian).
3. Dudyuk D.L., Zagvoyska I.D., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya. (1992): *Elementy teoriiy avtomatychnykh liniy* [Elements of the theory of automatic lines]. – Kyiv. – 192 p., (in Ukrainian).
4. Gayda S.V. (2007). Проблема деревної сировини у Європі та Україні / *Problema derevnoyi syrovyny u Yevropi ta Ukrayini* [A problem of arboreal raw material is in Europe and Ukraine]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 33:55-63 (in Ukrainian).
5. Gayda S.V. (2011). Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine / *Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry* (Slovakia, Zvolen Juve 29 – July 01. 2011). TU Zvolen. – P. 108-121.
6. Gayda S.V. (2015). Investigation of physical and mechanical properties of post-consumer wood. Actual problems of forest complex 43:175-179, (in Russian).
7. 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).

8. Gayda S.V. (2013). Techniques for utilization of post-consumer wood in the production of fuel pellets and briquettes. Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry (Slovakia, Zvolen June 23-26. 2013). TU Zvolen, 119-130.
9. Gayda S.V. (2013). Розроблення технології виробництва паливних гранул на основі енергетичного потенціалу вживаної деревини [Development of technology for the production of fuel pellets based on the energy potential of used wood]. Scientific Bulletin of UNFU 23.14:83-93. (in Ukrainian).
10. Gayda S.V. (2013). The technological solutions for recycling of post-consumer wood. Proceedings of I International Interdisciplinary Scientific Conference Formation of stable outlook as the basis of sustainable development (Ukraine, Lviv, 14-16 March 2013) UNFU: Lviv, 5-11.
11. 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).
12. Gayda S.V. (2017). Використання нечітких експертних систем для підтримки прийняття рішень в процесі сортування вживаної деревини [Using fuzzy expert systems for decision support in the process of post-consumer wood sorting]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 43:5-20 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174301>
13. Gayda S.V. (2017). Комплексні дослідження зміни пружних властивостей вживаної деревини ялиці з віком [The complex studies on the change of elastic properties of post-consumer fir wood with age]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 43:58-72 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174308>
14. Gayda S.V. (2018). A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 44, 15-25. <https://doi.org/10.36930/42184402> (in Ukrainian).
15. Gayda S.V. (2018). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). *Bulletin of KhNTUA* 197:3-9, (in Ukrainian).
16. Gayda S.V. (2018). Технологія МДФ-фасадів / *Tekhnolohiyi MDF-Fasadiv* [MDF Facade Technologies]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44:70-83 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184410>
17. Gayda S.V. (2019). Scientific and technical basis of the use of used wood in woodworking: thesis of the Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.23. – Lviv: UNFU. – 465 (in Ukrainian).
18. Gayda S.V., Bilyy Ya.M. (2016). The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 42, 69-79. <https://doi.org/10.36930/42164211> (in Ukrainian).
19. Gayda S.V., Maksimiv V.M., Kiyko O.A., Ferenc O.B. (2013). Залишки деревини та деревина після споживання. Класифікація. Терміни та визначення [Wood residues and post-consumer wood. Classification. Terms and definitions] / Agreement No. 08.24-11-1: draft international standard ISO. – Lviv: NLTU of Ukraine – 53 p. (in Ukrainian).
20. Gayda, S.V. (2007). Матеріали для виготовлення виробів з деревини. – Львів: BMC. – 160 с. (in Ukrainian).
21. Gayda S.V., Dyak T.P. (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. doi: <https://doi.org/10.36930/421137221>
22. Gayda S.V., Kiyko O.A. (2013). Технология очистки вторично используемой древесины иглофрезерными станками [The technology of cleaning recycled wood with needle milling machines] // *Actual problems and prospects of the development of LPK: materials II NTK.*, September 9-11, 2013 – Kostroma. – P. 36-39. (in Russian).
23. Gayda S.V., Kiyko O.A. (2018). Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards. Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 17, 185-192. <https://doi.org/10.15421/411834> (in Ukrainian)

UDC 658.527.011.56

Assoc. prof. R.Ya. Orikhovskyy – UNFU

Research of reliability and stability of automatic lines in woodworking

In Article, the problem of modern methods of determination of reliability of the equipment for the purpose of increase of efficiency of functioning of automatic lines at the woodworking enterprises is considered. The influence of equipment reliability on the stability of technological operations is analyzed. Decreased reliability leads to a significant decreased in the valid productivity of automatic lines. Improving the reliability of automatic lines is performed by developing optimal schemes of equipment layout, structural and parametric optimization and reservation. Analysis of the reliability of automatic lines makes it possible to assess the reliability of the production system and its elements, taking into account the strategy of maintenance and repairs, as well as the impact of the external environment. Such tasks are solved using quantitative methods of reliability research. To design automatic lines, different variants of research objects are compared and substantiated. Analyzing the reliability of complex systems take into account the validity of the models, the reality of the results, the adequacy and accuracy of the models, the simplicity and convenience of obtaining results, as well as the scope of tasks to determine quantitative indicators of reliability. The performed researches give the chance to confirm that reliability of the technological equipment considerably influences actual productivity of an automatic line and its efficiency as a whole. A significant increase in the variance of the production interval with a decrease in the reliability of machines in the automatic line causes an intensive decrease in the coefficient of stability and efficiency of the technological line. The coefficient of stability of the equipment decreases with a decrease in its coefficient of readiness. Improving the reliability of automatic lines is carried out by developing optimal schemes of equipment layout and parametric optimization and redundancy.

Keywords: equipment reliability; Erlang parameter; simulation modeling; structural-parametric optimization of lines.