

13. Горошко О.А. Введение в механику деформируемых одномерных тел переменной длины / О.А. Горошко, Г.И. Савин. – К. : Вид-во "Наук. думка", 1971. – 224 с.
14. Малиновский В.А. Стальные канаты. – Ч. I. Некоторые вопросы технологии, расчёта и проектирования / В.А. Малиновский. – Одесса : Изд-во "Астропринт", 2001. – 188 с.
15. Малиновский В.А. Стальные канаты. – Ч. II. Основные теории изгиба и взаимодействия с опорной поверхностью / В.А. Малиновский. – Одесса : Изд-во "Астропринт", 2002. – 180 с.
16. Мартинців М.П. Динаміка та надійність підвісних канатних систем / М.П. Мартинців, Б.В. Сологуб, М.В. Магішшин. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2011. – 188 с.
17. Комаров М.С. Динамика грузоподъемных машин / М.С. Комаров. – М.-К. : Изд-во "Машгиз", 1962. – 267 с.
18. Вейц В.Л. Динамические расчеты приводов машин / В.Л. Вейц, А.Е. Кочура, А.М. Мартыненко. – Л. : Изд-во "Машиностроение", 1971. – 352 с.
19. Декларацийний патент на корисну модель UA 2289 U, МПК 7 B61B7/00. Канатна установка з дистанційним керуванням / М.П. Мартинців, В.М. Мартинців, В.В. Барилляк, І.М. Рудько, № 2003 065905. – Опубл. 15.01.2004. – Бюл. № 1. – 4 с.
20. Koller Forsttechnik. Kufsteiner Wald 26. A-6334 Schwoich bei Kufstein. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.kollergmbh.com/>.
21. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев; отв. ред. Г.С./ Писаренко. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – К. : Вид-во "Наук. думка", 1988. – 736 с.
22. Декларацийний патент на корисну модель UA 24654 U, МПК B61B7/00. Проміжна щогла багаторазового використання для канатної лісотransпортної установки / М.П. Мартинців, Б.В. Сологуб, І.В. Бичинюк. – у 2007 01770. – Опубл. 10.07.2007. – Бюл. № 10. – 6 с.
23. Декларацийний патент на корисну модель UA 48067 U, МПК B61B7/00. Проміжна щогла підвісної канатної установки / М.П. Мартинців, І.В. Бичинюк, Б.В. Сологуб. – у 2009 07889. – Опубл. 10.03.2010. – Бюл. № 5. – 4 с.
24. URUS. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.urus-hinteregger.com/>.
25. Konrad Forsttechnik GmbH. Oberpreitenegg 52. A-9451 Preitenegg. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.forsttechnik.at/neues/>.
26. MAXWALD-Maschinen Ges.m.b.H. Irresbergstraße 1. A-4694 Ohlsdorf. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.maxwald.com/>.
27. VALENTINI srl. Viale Degasperì 157. I-38023 Cles (TN). [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.valentini-teleferiche.it/>.
28. TST Seilgeräte Trösl GmbH. Hammerstraße 9, A-3184 Tümitz. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.tst-seilkran.at/>.
29. Forest cableway Larix. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.slprktiny.cz/en/commercial/forest-machinery/forest-cableways/>.
30. Лютий Є.М. Канатні установки для освоєння гірських лісів та напрямки їх вдосконалення / Є.М. Лютий, М.П. Мартинців, Й.С. Бадера // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2000. – Вип. 10.1. – С. 211-220.
31. Декларацийний патент на корисну модель UA 37299 U, МПК B61B12/00. Канатна установка / Й.С. Бадера, М.П. Мартинців, Б.В. Сологуб, А.В. Кий. – Опубл. 25.11.2008. – Бюл. № 22. – 4 с.
32. Декларацийний патент на корисну модель UA 17058 U, МПК B61B12/00. Канатна установка / Й.С. Бадера, В.В. Барилляк. – у 2006 01763. – Опубл. 15.12.2006. – Бюл. № 9. – 3 с.
33. Декларацийний патент на корисну модель UA 73489 U, МПК (2012.01) B61B 12/00. Компенсатор натягу несучого каната лісотransпортної установки / В.В. Барилляк, І.М. Рудько, І.В. Бичинюк. – у 2012 02941. – Опубл. 25.09.2012. – Бюл. № 18. – 3 с.

**Мартынец М.П., Рудько И.М., Барилляк В.В., Бычинок И.В. Разработка моделей и методов анализа работы канатных лесотранспортных установок и перспективы их развития**

Проанализированы конструкционные особенности канатных лесотранспортных установок, схемы канатной оснастки и методы расчета их основных элементов (канатов, приводов, грузовых кареток, опор). Приведены зависимости для определения основных параметров канатных установок (полученные с использованием уравнения цепной линии, уравнения движения веток каната, уравнения Лагранжа II рода) и перечень

прикладных программ для расчета и конструирования их отдельных элементов. Отмечены возможные пути совершенствования конструкций канатных установок и перспективы развития канатного лесопромышленного транспорта.

**Ключевые слова:** анализ конструкций канатных лесотранспортных установок, схемы канатной оснастки, методы расчета, математические модели, прикладные программы.

**Martyniv M.P., Rud'ko I.M., Barylyak W.W., Bychynik I.V. Development of models and methods of analysis of work of ropes system for wood transportation and prospect of their development**

The construction features of ropes system are analysed for wood transportation, charts of the rope rigging and methods of calculation of their basic elements (ropes, drives, freight carriages, supports). Dependences over for determination of basic parameters of ropes system (got with the use of equalization of catenary, equalization of motion of branches of rope, differential equation of motion of the system in the generalized coordinates – equalizations of Lagrange) and list of the application programs are brought for a calculation and constructing of their separate elements. The possible ways of improvement of constructions of ropes system and prospect of development of rope forest industrial transport are marked.

**Keywords:** analysis of constructions of ropes system for wood transportation, chart of the rope rigging, methods of calculation, mathematical models, application programs.

УДК 674.81:662.638

Докторант С.В. Гайда, канд. техн. наук –  
НЛТУ України, м. Львів

**РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ НА ОСНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВЖИВАНОЇ ДЕРЕВИНИ**

Розраховано енергетичний потенціал деревної біомаси – відходів деревини та вживаної деревини (ВЖД), який сягав у 2012 р. 6,438 млн т, зокрема ВЖД – 2,0 млн т. Обґрунтовано, що перетворивши ці ресурси у тверді види палива, енергетичний потенціал зростає з 2,703 до 3,548 млн т у.л., тобто на 24 %. Розроблено технологію та удосконалено обладнання виготовлення паливних гранул із ВЖД як енергоємної сировини. Запропоновано режимні параметри виготовлення паливних гранул, виходячи із здатності до пресування.

**Ключові слова:** вживана деревина, енергетичний потенціал, паливні гранули, технологія, соціо-економічна ефективність.

**Актуальність.** Технологія утилізації відходів – перероблення вживаної деревини (ВЖД) для виробництва альтернативних джерел енергії, зокрема паливних гранул, є рентабельною та ефективною через низьку собівартість цієї деревної біомаси. Відповідно до проекту оновленої "Енергетичної стратегії України до 2030 р." [5] та пропозицій науковців Г.Г. Гелетука та Т.А. Железна [1], частка біомаси в загальному енергоспоживанні України може зрости з 0,7 % до 10 % у 2030 р. (для порівняння в ЄС цей показник зростає з 6,7 % до 19 %). Споживання деревної біомаси (відходів деревини) для виробництва енергії в Україні у 2010 р. становило 0,14 % (з урахуванням дров – 0,34 %) від загального постачання первинної енергії. За підсумками 2012 р., в Україні було виготовлено 810 тис. т твердого палива, зокрема майже 150 тис. т паливних гранул з деревних відходів. Пропонують використання енергетичного потенціалу ВЖД для отримання паливних гранул на основі удосконалення існуючих технологій та розроблення альтернативних рішень.

**Проблема, що вирішується** – одержання енергії з додаткових ресурсів деревини, зокрема ВЖД шляхом перероблення її на паливні гранули. Проблема сировини та проблема відходів є найактуальнішими в деревообробній промисловості та енергетичній галузі світу, Європи та України, зокрема на поч. XXI ст. Часткове вирішення останньої є раціональним та комплексним підходом до зменшення першої – проблеми сировини. Потенційним ресурсом та невикористаною базою деревної сировини, запаси якої збільшуються в міру розвитку промисловості та господарства загалом, є запаси ВЖД.

Вирішення поставленої проблеми ускладнюється різноманітністю ВЖД та, особливо, різних видів забруднювачів (антипіренів, антисептиків, інсектицидів, фунгіцидів, біоцидів та ін.) у ВЖД, яка за некоректного сортування та очищення може спричинити значні відхилення результатів прогнозування властивостей – теплотворної здатності, зольності, механічної міцності паливних гранул з ВЖД від параметрів гранул, отриманих з первинної сировини, що є неприйнятним з екологічних та економічних міркувань.

Напряцювання вітчизняних і зарубіжних вчених із зазначеної проблеми стосуються, в основному, використання виробничих деревних відходів, без залучення ВЖД до процесу виготовлення паливних гранул [3, 4]. Результати їхніх досліджень свідчать, що ця проблема не є вирішеною, позаяк не розроблено наукової бази та практичних рекомендацій для ефективного прогнозування властивостей паливних гранул із ВЖД. У багатьох країнах різні науковці широко вивчали ВЖД, особливо її забрудненість, яка стала визначальною щодо її класифікації, тобто належності до тої чи іншої групи, та використання. Наприклад, у Німеччині прийнято "Положення про регулювання вживаної деревини" (Altholzverordnung – AltholzV), де наведено особливості поводження з цими відходами. Зокрема, у ньому чітко регламентовано допустиму концентрацію хімічних елементів у стружці із ВЖД, яка може бути використана в енергетичних цілях. Вперше технологію виробництва паливних гранул було запропоновано в 1947 р., але періодично вона вдосконалюється і зазнає істотних змін у зв'язку розвитком сучасної техніки та особливостей використання тої чи іншої сировини. Тобто використання ВЖД зумовлює удосконалення технології.

Таким чином, розроблення науково-технічної бази, удосконалення існуючої технології, модернізація обладнання для перероблення ВЖД, розроблення режимних параметрів та формування практичних рекомендацій, підтверджених результатами експериментальних досліджень, є важливою та актуальною проблемою сьогодення.

**Мета досліджень** – розробити технологію та удосконалити обладнання для виготовлення паливних гранул із ВЖД; розробити практичні рекомендації для забезпечення заданих показників якості виготовлення гранул із ВЖД.

Досягнення мети можливе шляхом вирішення таких завдань:

- здійснити моніторинг та розрахувати кількість ВЖД, придатної для енергетичного використання – виготовлення паливних гранул;
- обґрунтувати способи та методи очищення ВЖД від різних домішок;
- розробити технологію виготовлення паливних гранул із ВЖД шляхом модернізації існуючої технології: модернізувати систему автоматичного керування процесом гранулювання за допомогою автоматизованого дозатора із мікропроцесорним керуванням; модернізувати змішувач сухої та вологої стружки із час-

тквим регулюванням швидкості подачі залежно від завантаженості приводу двигуна; модернізувати гравітаційний розділювач подрібненого матеріалу та домішок; встановити у лінію магнітного просіювача-вібратора, підвісної магнітної стрічки та детектора-металошукача на вході.

- здійснити вдосконалення обладнання лінії перероблення ВЖД на гранули: системи контролю температурного режиму гранулювання; системи регулювання вологості стружки на вході та цифрового стабілізатора вологи на виході;
- розробити режимні параметри процесу гранулювання;
- розрахувати та обґрунтувати ефективність від використання ВЖД для виготовлення паливних гранул.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення паливних гранул із ВЖД на вдосконаленому обладнанні.

**Предмет досліджень** – закономірності впливу технологічних параметрів на властивості паливних гранул із ВЖД для забезпечення заданих показників якості їх виготовлення.

**Засоби, які використано для вирішення завдань:**

- модернізація системи автоматичного керування процесом гранулювання за допомогою автоматизованого дозатора із мікропроцесорним керуванням;
- модернізація змішувача сухої та вологої стружки із частковим регулюванням швидкості подачі залежно від завантаженості приводу двигуна;
- модернізація гравітаційного розділювача стружок та домішок;
- формування практичних рекомендацій щодо виготовлення гранул.

**Підходи, які задіяно для вирішення завдань:**

- застосування способів механічного та термомеханічного очищення ВЖД;
- створення лінії з виробництва паливних гранул із ВЖД;

**Ідеї, які покладено в основу для вирішення завдань:**

- удосконалення обладнання, яке стало б основою для створення серійних ліній щодо перероблення ВЖД на паливні гранули;
- розроблення режимних параметрів виготовлення паливних гранул із ВЖД;
- удосконалення обладнання – системи контролю температурного режиму гранулювання;
- удосконалення системи регулювання (контролера) вологості стружки на вході та цифрового стабілізатора вологи на виході;
- встановлення у лінію магнітного просіювача та детектора-металошукача на вході.

**Робочі гіпотези, які використано для вирішення завдань:**

- одержання енергії із додаткових ресурсів деревини, зокрема ВЖД шляхом перероблення її на паливні гранули;
- удосконалення технології та обладнання для виробництва паливних гранул із ВЖД;
- використання для досліджень наявної установки гранулювання;
- переваги гранульованого палива: теплотворна здатність 3500–4800 ккал/кг, вологість 8–12 %, менший об'єм, більша однорідність часток, завдяки чому транспортування та зберігання гранул є зручним, а їх використання для опалення дає змогу застосовувати автоматизовані системи подачі палива.

**Дослідження енергетичного потенціалу деревної біомаси (відходів деревини та ВЖД).** Визначення енергетичного потенціалу деревної біомаси виконано на основі статистичних даних Державного агентства лісових ресурсів України щодо заготівлі деревини за 2012 р. (табл. 1).

Табл. 1. Енергетичний потенціал відходів деревини та вживаної деревини в Україні за 2012 р.

Деревна біомаса та біопаливо	W, %	Теплотворна здатність, ккал/кг	Біомаса – відходи			Заготівля деревини, млн т.	Енергетичний потенціал		
			%	К	%		млн т у.п.	ПДж	млрд кВт/год.
Розрахункові цифри		7000	100,00			12,18			
Відходи лісозаготівлі:									
Відходи лісосічні	60	1170	6,00	0,60	3,60	0,438	0,073	2,148	0,597
Тріска зелена (суччя, хвоя, кора)	60	1200	4,00	0,50	2,00	0,244	0,042	1,224	0,340
Тріска пнів та коренів	40	2050	8,00	0,40	3,20	0,390	0,114	3,346	0,929
Всього			18,00		8,80	1,072	0,229	6,718	1,866
Відходи деревооброб. пром-сті:									
Тріска різана (5-50 мм)	45	1950	18,00	0,10	1,80	0,219	0,061	1,790	0,497
Обрізки, рейки, стружка, тирса			47,00						
- відходи меблевої деревини	20	3600	31,30	0,62	19,40	2,364	1,216	35,629	9,897
- відходи будівельної деревини	45	2120	6,30	0,42	2,60	0,322	0,098	2,861	0,795
- відходи балансової деревини	40	2370	6,30	0,33	2,10	0,253	0,086	2,513	0,698
- відходи фанерної сировини	30	2870	3,10	0,54	1,70	0,204	0,084	2,450	0,681
Всього			65,00		27,60	3,362	1,544	45,243	12,567
Разом відходів			83,00		36,41	4,434	1,773	51,961	14,433
Дрова:									
Дрова з лісосік (25-3000 мм)	50	1620	12,00	1	12,00	1,462	0,338	9,914	2,754
Деревина тонкомір (50-500 мм)	45	2120	5,00	1	5,00	0,609	0,184	5,406	1,502
Всього			17,00		17,00	2,071	0,523	15,320	4,255
Разом біомаси			100,00		53,40	6,505	2,295	67,281	18,689
Відходи ВЖД:			млн.т						
Вироби від торгівлі (піддони)	15	3850	0,301	0,15	15,00	0,301	0,165	4,847	1,346
Вироби будівельні деревні	18	3700	0,461	0,23	23,00	0,461	0,244	7,142	1,984
Вироби з промисловості деревні	20	3600	0,120	0,06	6,00	0,120	0,062	1,813	0,504
Вироби з приміщень (меблі та ін)	10	4100	0,261	0,13	13,00	0,261	0,153	4,473	1,242
Муніципальні відходи деревини	40	2370	0,341	0,17	17,00	0,341	0,115	3,381	0,939
Тверді побутові відходи (3 %)	35	2600	0,421	0,21	21,00	0,421	0,156	4,582	1,273
Інша ВЖД:	30	2870	0,100	0,05	5,00	0,100	0,041	1,204	0,335
Всього ВЖД	25	3280	2,004		100,0	2,004	0,936	27,442	7,623
Всього відходів						6,438	2,709	79,403	22,056
Паливо деревне:									
Тріска ВЖД	22	3250			50,00	1,002	0,465	13,637	3,788
Тріска паливна (5-50 мм)	30	3000			8,80	1,072	0,459	13,464	3,740
Колода паливна (200-2000 мм)	20	3520			4,00	0,487	0,245	7,181	1,995
Дрова (150-1000 мм)	20	3600			8,00	0,974	0,501	14,688	4,080
Поліно (50-150 мм)	18	3700			5,00	0,609	0,322	9,435	2,621
Гранули з первинної деревини	7	4500							
Гранули з відходів виробництва	9	4300			27,61	3,362	2,065	60,537	16,815
Гранули з ВЖД	8	4100			25,00	0,501	0,293	8,602	2,389
Брикети з первинної деревини	10	3800							
Брикети з відходів виробництва	15	3650							
Брикети з ВЖД	12	3700			25,00	0,501	0,265	7,763	2,156
Вугілля деревне	8	7430							
Енергетичний потенціал ВЖД						2,004	1,024	30,00	8,334
Енергетичний потенціал без дров						6,438	3,548	104,00	28,889
Сумарний потенціал						8,509	4,616	135,31	37,584

При заготівлі деревини у 2012 р. на рівні 12,18 млн т (17,4 млн м<sup>3</sup> шільних) [2], об'єм технічно доступних лісосічних відходів (у середньому 50 % від утворених) становив 1,072 млн т (0,229 млн т у.п.), а відходів від перероблення – 3,362 млн т (1,544 млн т у.п.). Сирих дров (вологістю 45-50 %) було заготовлено 17 % від об'єму заготівлі, тобто 2,071 млн т з енергетичним потенціалом за такої вологості 0,523 млн т у.п.

Досліджено, що в Україні щороку утворюється певна кількість ВЖД – відходів споживання, частка деревини в яких становить більше 50 %. Вважаючи, що рівень споживання деревини залежить від експорту-імпорту, які компенсують один одного в загальному балансі сировини, рівень утворення ВЖД розраховували від об'єму заготівлі 13 % (загальноприйнятий в ЄС розрахунок), що становило у 2012 р. 1,58 млн т. Крім цього, в Україні щорічно в населених пунктах утворюється в середньому 50-60 млн м<sup>3</sup> твердих побутових відходів (ТПВ), де частка ВЖД становить 2-4 %. За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства у 2012 р. утворилось 14 млн т ТПВ, з яких 0,42 млн т (3 %) ВЖД. Таким чином, в Україні у 2012 р. утворилось 2 млн т ВЖД, з енергетичним потенціалом 0,936 млн т у.п. (27,442 ПДж або 7,623 млрд кВт-год). Перетворивши утворену ВЖД за 2012 р. у паливо за розподілом 50 % тріска, 25 % паливні гранули та 25 % паливні брикети можливо збільшити енергетичний потенціал до 1,024 млн т у.п., тобто на 9 %.

Маючи значний енергетичний потенціал (без врахування дров) з відходів деревини та ВЖД за 2012 р. обсягом 6,438 млн т (2,703 млн т у.п. або 79,4 ПДж або 22,056 млрд кВт-год), можливо його збільшити, перетворивши ці ресурси в енергетичні види палива. Результати розрахунку свідчать, що зростання може становити 24 %, тобто енергетичні показники зростуть і будуть становити: 3,548 млн т у.п. або 104,00 ПДж або 28,889 млрд кВт-год. При виробництві річної електроенергії в Україні у 2012 р. обсягом 198 млрд кВт-год, це становило б 14,6 %, або 19,2 % від річного споживання.

**Вибір системи поводження.** Володіючи значним стабільним потенціалом ВЖД (табл. 2), Україна зможе значно економити первинні сировинні ресурси. Як наслідок – правильний вибір системи поводження ВЖД зумовить раціональні шляхи використання цього деревного ресурсу. Запропоновано використовувати ВЖД для перероблення, виробництва енергії та звалища.

Табл. 2. Потенціал вживаної деревини в Україні

Походження	Розрахунковий потенціал вживаної деревини					
	2010		2011		2012	
	%	млн т.	%	млн т.	%	млн т.
Торгівля (тара, піддони)	13,00	0,363	12,00	0,288	15,00	0,301
Будівельні дерев'яні відходи	18,00	0,503	22,00	0,527	23,00	0,461
Деревообробна галузь	7,00	0,196	6,00	0,144	6,00	0,120
Старі меблеві вироби	12,00	0,335	12,00	0,288	13,00	0,261
Муніципальні відходи	16,00	0,447	16,00	0,383	17,00	0,341
Тверді побутові відходи	27,00	0,755	24,00	0,575	21,00	0,421
Інше	7,00	0,196	8,00	0,192	5,00	0,100
Всього ВЖД	100,00	2,795	100,00	2,396	100,0	2,004
Розрахункові цифри	-	-	-	-	-	-
Споживання деревних ресурсів	15,00	13,600	15,00	12,140	13,00	12,180
Тверді побутові відходи	6,00	12,583	4,50	12,778	3,00	14,033

Зрозуміло, що за обдуманого поводження обсяг ВЖД, що зосереджуються на звалищах, буде мінімізуватися, а зате у двох інших системах буде створюватися розумна конкуренція за сировину, як основа ефективного використання. Залежно від категорії ВЖД після певного очищення (рис. 1), ці відходи можна використати як для перероблення для виробництва нової продукції або аналогічної продукції менших розмірів, так і для виробництва енергії – електрики і тепла. Особливої уваги заслуговує використання ВЖД для виробництва паливних гранул.

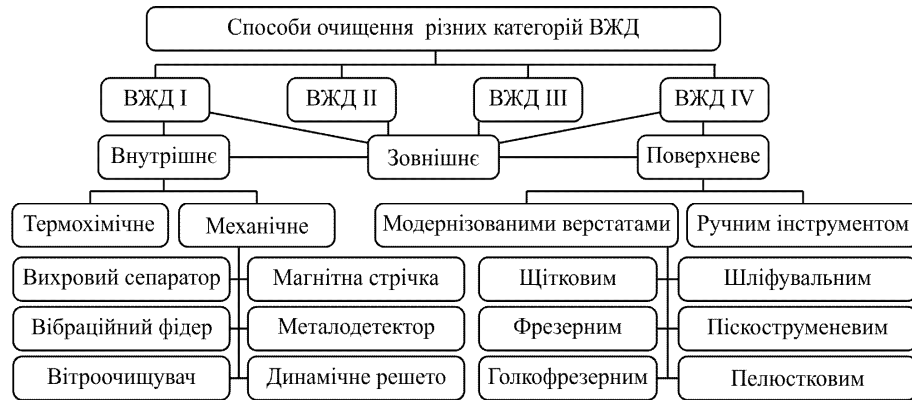


Рис. 1. Способи очищення вживаної деревини

Технологія паливних гранул із ВЖД. Технологічний процес виробництва паливних гранул із ВЖД охоплює дві основні дільниці: подрібнення та очищення; сушіння та гранулювання.

Проаналізовано та запропоновано, що типова дільниця з оброблення та очищення ВЖД повинна мати такі операції та обладнання технологічного процесу: стрічковий транспортер, лінію подачі на подрібнення, лінію подрібнення, металошукач для початкового видалення металів, пристрій для видалення ганчірок і волокон, які присутні у потоці частинок, устаткування для видалення легких забруднювачів (папір, нейлон, волокно і т. ін.), динамічний класифікатор для розділення некондиційної стружки, яка поступить до подрібнення, бункери для складування та дозування тріски, металодетектор для повторного високоєфективного видалення металів, пристрій для сортування на три фракції, циклон для гравіметричного очищення для дрібної фракції, дисковий сепаратор для пневматичного сортування, для видалення піску із дрібної стружки, для кінетичного очищення, для фракції мікро- та макротріски, магнітний конвеєр для видалення кольорових металів (алюміній, мідь, латунь і т. ін.), дробарку для перероблення накопичень бракованої деревини з усіх відбірників, а також системи аспірації і фільтрування пилюки з усього устаткування та транспортування фракцій до бункерів дозування.

Розроблено технологічну схему підготовки стружки із ВЖД (рис. 2).

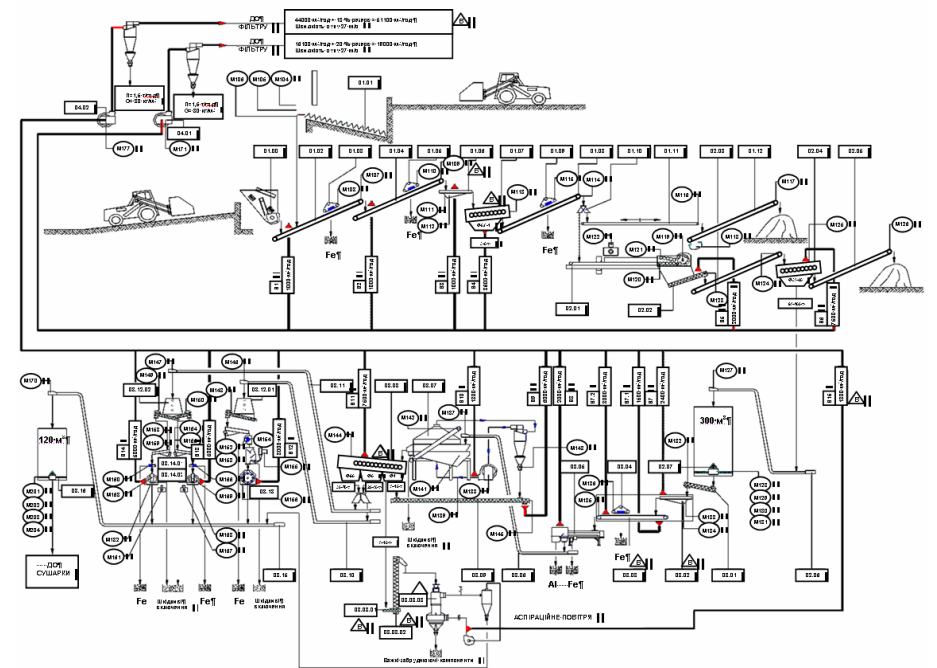


Рис. 2. Технологія перетворення ВЖД в очищену кондиційну стружку: 01.00 – дробарка; 01.01 – шнек; 01.02 – конвеєр; 01.03 – поверхнева магнітна транспортна стрічка; 01.04 – конвеєр; 01.05 – поверхнева магнітна транспортна стрічка; 01.06 – вібраційний фідер; 01.07 – динамічне решето; 01.08 – конвеєр; 01.09 – поверхнева магнітна транспортна стрічка; 01.10 – розділювач (дівертор); 01.11 – конвеєр реверсний; 01.12 – конвеєр; 02.01 – конвеєр; 02.02 – шнек; 02.03 – конвеєр; 02.04 – динамічне решето; 02.05 – конвеєр; 02.06 – аспіраційний завантажувач стружки; 02.07 – бункер на 300 м<sup>3</sup>; 03.01 – шнек; 03.02 – вібраційний фідер; 03.03 – вузол відкладання; 03.04 – поверхнева магнітна транспортна стрічка; 03.05 – вихровий сепаратор; 03.06 – аспіраційний завантажувач тріски; 03.07 – сухе очищення тріски; 03.08 – динамічне решето; 03.08.03 – вітроочишувач решітчастий; 03.09 – шнек; 03.10 – аспіраційний завантажувач тріски; 03.11 – аспіраційний завантажувач тріски; 03.12 – бункер; 03.13 – молотковий млин; 03.14 – верстат стружковий з ножовим валом; 03.15 – аспіраційний завантажувач стружки; 03.16 – бункер на 120 м<sup>3</sup>; 4.00 – вітрове сито для сухих малих стружок; 04.01 – вітрове сито для сухих великих стружок; 04.02 – цільний захисний шар

Типова технологічна дільниця виробництва паливних гранул із первинної сировини охоплює такі стадії: первинне подрібнення на тріску; сушіння; остаточне подрібнення до розміру стружок; перемішування подрібненої сировини з водою та паром; гранулювання; охолодження та просушування гранул; просіювання гранул для відділення дрібних фракцій; фасування готової продукції. Проведений аналіз існуючих ліній гранулювання зумовив необхідність модернізації окремих вузлів та встановлення пристроїв, які в сукупності забезпечили б виробництво якісних паливних гранул з ВЖД. У зв'язку з цим, було проведено дослідження у виробничих умовах, які забезпечили перероблення ВЖД

для виробництва паливних гранул на удосконаленому технологічному процесі та модернізованому обладнанні. Таким чином, було:

- рекомендовано удосконалити обладнання лінії з виготовлення гранул;
- запропоновано для подрібнення та сортування різноманітних видів ВЖД, в тому числі з металевими включеннями змішаних великогабаритних відходів, старої та використаної деревини, коріння дерев, кабельних котушок і старих піддонів, ж/д шпал і телефонних стовпів, крон та гілок дерев, а також відходів деревообробки таких як: горбиль, рейка, обпіл, встановити потужний подрібнювач шредер;
- удосконалено барабанні рубальні машини, зокрема їх необхідно оснащувати сітчастим вкладишем для калібрування тріски. Оскільки під час використання ВЖД це усуває необхідність її сортування і повторного подрібнення. Для покращення умов рубання ВЖД, підвищення енергетичних показників та підвищення якості виробленої тріски, різальний орган машин необхідно виконувати секційно, а різальні ножі в сусідніх секціях повинні бути зміщені, відносно один одного на 90°;
- розроблено систему контролю температурного режиму матриці пресу;
- модернізовано систему автоматичного керування процесом гранулювання за допомогою автоматизованого дозатора із мікропроцесорним керуванням;
- удосконалено контролер вологості стружки на вході;
- запропоновано динамічний класифікатор сухої та вологої стружки;
- встановлено цифровий стабілізатор вологи на виході;
- модернізовано змішувач сухої та вологої стружки із частковим регулюванням швидкості подачі залежно від завантаженості приводу двигуна;
- модернізовано гравітаційний розділювач стружок та домішок;
- встановлено у лінію детектор-металошукач на вході, підвісну магнітну стрічку та магнітний просіювач-вібратор – рухома підлога.

Запропоновані етапи та операції щодо нової технології виготовлення паливних гранул з ВЖД представлені у табл. 3.

Табл. 3. Технологія паливних гранул з ВЖД

№ з/п	Стадії та операції	Устаткування та обладнання
1а	До виробничача	
1.	Збирання, накопичування за типом	Місця утворення, господарства
2.	Транспортування до місць перероблення	Транспорт
3.	Ідентифікація ВЖД за категоріями	Візуально, приладами
4.	Сортування за матеріалом	Візуально, розрізування
5.	Очищення від зовнішніх включень	Інструмент, фізично
6.	Видалення видимих металевих включень	Метало-детектор, фізично
7.	Очищення від лакофарбових матеріалів	Обладнання (щітковий верст)
8.	Індикація на недопустимі хімікалії	Індикатор, дослідження
1б	Подрібнення та очищення	
9.	Подрібнення на тріску	Руб. машина, молотковий млин
10.	Накопичування	Бункер для збирання
11.	Відокремлення грубих предметів	Дисковий сепаратор
12.	Висмокування залишків фольги, плівки	Аспіраційна система
13.	Розділення сировинного потоку на фракції	Розподільчий конвеєр
14.	Видалення залишків заліза і кольорових металів	Метало-детектор, постійний магніт
15.	Виготовлення стружок	Молоткова дробарка
16.	Ситове сортування	Інерційно-пневматичні пастки
17.	Транспортування стружки до бункерів	Пневмотранспорт, дозатори

П	Сушіння та гранулювання	
18.	Подача стружок до сушарки	Транспортер ланцюговий
19.	Сушіння стружок	Сушарка барабанного типу
20.	Подача теплоносія	Теплогенератор
21.	Відокремлення стружки та повітря	Циклон-відокремлювач
22.	Відокремлювач сухої та вологої стружки	Динамічний класифікатор
23.	Подрібнення до визначеної фракції	Подрібнювач молотковий
24.	Транспортування сухої стружки	Осадний циклон
25.	Подача стружок до бункера гранулятора	Транспортер шнековий
26.	Кондиціонування стружок водою	Змішувач (кондиціонер) преса
27.	Подача стружок в гранулятор	Віддільник феромагнітних домішок
28.	Формування гранул	Прес-гранулятор
29.	Обламування гранул	Ніж нерухомий
30.	Транспортування гранул	Транспортер вертикальний (норія)
31.	Охолодження та просіювання гранул	Колона охолоджувальна
32.	Відділення кондиційних гранул	Пристрій сортування
33.	Подача до бункера готової продукції	Норія готової продукції
34.	Розфасовування гранул	Дозатор ваговий

**Висновки:**

- Встановлено, що впровадження розробок з використання ВЖД для виробництва паливних гранул дасть змогу підвищити економічну ефективність їх виготовлення, а також значно заощадити первинні сировинні деревні ресурси.
- Розраховано, що в Україні у 2012 р. утворилось 2 млн т ВЖД, з енергетичним потенціалом 0,936 млн т у.п. (27,442 ПДж або 7,623 млрд кВт-год). Перетворивши утворену ВЖД за 2012 р. у паливо за розподілом 50 % тріска, 25 % паливні гранули та 25 % паливні брикети можливо збільшити енергетичний потенціал до 1,024 млн т у.п., тобто на 9 %.
- Удосконалено існуючу технологію виробництва паливних гранул, яка використовує традиційну первинну деревну сировину.
- Розроблено технологічний процес перетворення ВЖД у тверде паливо – паливні гранули. Запропоновано у новій технології запровадити дільницю з підготовки ВЖД, яка охоплює сортування за забрудненням, за породою, за конструкційними матеріалами та інше; очищення від домішків і різноманітних включень; вилучення пластмаси, кольорових та чорних металів як з масивної, так і з подрібненої ВЖД.
- Запропоновано такі режимні параметри процесу гранулювання: деревні частинки вибраної проби – 100 %; вологість частинок перед пресуванням – 12 %; фракційний склад: < 3,15 мм – > 97 %; < 2,0 мм – > 90 %; < 1,0 мм – > 50 %; < 0,1 мм – < 5 %; насипна щільність стружок – 200-250 кг/м<sup>3</sup>; добавки – 0 %; діаметр отворів – 6 мм; діапазон температури пресування – 90-100 °С; тиск пресування (в регуляторі лозу між матрицею та роликками) – 10-150 МПа; віддал між матрицею та роликками – 0,3 мм; співвідношення довжини каналу матриці до її діаметра – 3,5.

**Рекомендації до технологічного процесу:**

- Здійснювати сортування ВЖД за розробленими категоріями (ступенями забруднення): ВЖД-I – природна та тільки механічно оброблена деревина з незначними забрудненнями натуральними зв'язками (парафін, церезин, петролатум, віск, мастило та ін.), а також деревина від стихійних катаклізмів; ВЖД-II – оброблена деревина та деревні матеріали без речовин захисту деревини та без галогеноорганічних зв'язків у покриттях; ВЖД-III – оброблена деревина та де-

ревні матеріали без речовин захисту деревини та з галогеноорганічними зв'язками у покриттях; ВЖД-IV – деревина та деревні матеріали, які оброблені речовинами захисту.

- Придатну для виготовлення паливних гранул ВЖД необхідно очищати одним із способів: поверхневим (для масивної ВЖД) – модернізованими верстатами (щітковим, фрезерним, голко фрезерним, шліфувальним, піскоструйним, пелюстковим); внутрішнім (для подрібненої ВЖД) – устаткуванням (повітряний сепаратор, вібраційний фідер, повітряний очищувач, магнітна стрічка, металодетектор, динамічне решето).
- За наявності у ВЖД шкідливих елементів та їх сполук понад норму необхідно проводити термо-хімічне очищення за температури 100-130 °С або спалювати в котельних установках потужністю більше 100 кВт.
- Встановити у технологічному процесі детектор-металошукач на початковому етапі – перед завантаженням подрібненої сировини; закріпити підвісну підмагнічену стрічку над рухомих стрічковим транспортером та вмонтувати магнітний просівач-вібратор під назвою "рухома підлога" на механізованому складі.
- Забезпечити скребковим транспортером регульовану швидкість подачі сировини до дискового сепаратора (гравітаційного розділювача) для якісного відділення від каменів, піску та інших домішок.
- Встановити динамічний розділювач, який у процесі сушіння розділяє суху і дрібну фракцію від вологих і великих частинок, повертаючи їх до ротора-подрібнювача.
- Подрібнену та висушену стружку ВЖД подавати в осадовий циклон, в якому вона за рахунок відцентрової сили осідає на дно, і, завдяки модернізованому шнековому транспортеру, підвозити до бункера гранулятора.
- Модернізувати систему автоматичного керування процесом гранулювання за допомогою автоматизованого дозатора із мікропроцесорним керуванням.
- Модернізувати змішувач сухої та вологої стружки із частковим регулюванням швидкості подачі залежно від завантаженості приводу двигуна.
- Встановити в обладнання лінії перероблення ВЖД на гранули систему контролю температурного режиму гранулювання та системи регулювання вологості стружки на вході з пристроєм подачі води безпосередньо в гранулятор.
- Запровадити у виробничий процес цифровий стабілізатор вологи на виході, оскільки гранули, які виходять з матриці, мають високу температуру та неміцні.
- Забезпечити транспортування гарячих гранул вертикальним транспортером – норією в охолоджуючу колонку, забезпечуючи відсмоктування незрнульованої стружки в циклон.
- Здійснювати дозування паливних гранул з ВЖД у мішки вагою 15 кг.

### Література

1. Гелетуша Г.Г. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. – Ч. 1. Відходи сільськогосподарства та деревинна біомаса / Г.Г. Гелетуша, Т.А. Железна, М.М. Жовмір, та ін. // Промислова теплотехніка : зб. наук.-техн. праць. – 2010. – Т. 32, № 5. – С. 58-65.
2. Клюс С.В. Визначення та прогнозування енергетичного потенціалу деревини та її відходів / С.В. Клюс // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.7. – С. 84-91.
3. Мальований М.С. Гранулювання паливних матеріалів / М.С. Мальований, Р.Я. Бать // Восточно-Европейский журнал передовых технологий : науч. журнал. – Харьков : Изд-во "Технологический центр". – 2012. – № 5/8 (59). – С. 10-14.
4. Курка Р.Р. Особливості технології формування паливних гранул з подрібненої деревини листяних порід / Р.Р. Курка // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.13. – С. 132-136.

5. Проект оновленої "Енергетичної стратегії України на період до 2030 року". [Електронний ресурс]. – Доступний з [http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art\\_id=222035&cat\\_id=200576](http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art_id=222035&cat_id=200576).

### **Гайда С.В. Разработка технологии производства топливных гранул на основе энергетического потенциала вторично используемой древесины**

Рассчитан энергетический потенциал древесной биомассы – отходов древесины и вторично используемой древесины (ВИД), который составил в 2012 г. 6,438 млн т, в частности, ВИД – 2,0 млн т. Обосновано, что превратив данные ресурсы в твердые виды топлива, энергетический потенциал возрастет с 2,703 до 3,548 млн т у.т., то есть на 24 %. Разработана технология и усовершенствовано оборудование для изготовления топливных гранул из ВИД как энергоемкого сырья. Предложены режимные параметры изготовления топливных гранул, исходя из способности к прессованию.

**Ключевые слова:** вторично используемая древесина, энергетический потенциал, топливные гранулы, технология, социо-экономическая эффективность.

### **Gayda S.V. Production techniques and properties of fuel pellets produced from post-consumer wood**

An estimation of the energy potential has been made for woody biomass – wood waste and post-consumer wood (PCW) – which amounted to 6.438 million tonnes in 2012, the share of PCW being 2.0 million tonnes. It has been substantiated that these resources, when converted into solid fuel, could enhance the energy potential from 2.703 to 3.548 million tonnes of equivalent fuel, that is by 24 %. Up-to-date production techniques have been developed and existing equipment has been improved to produce fuel pellets from PCW as being high energy capacity raw material. Operating conditions of the production process have been considered and the optimal pellet composition was determined on their pressing capability.

**Keywords:** post-consumer wood, energy potential, pellets, production techniques, socio-economic efficiency.

УДК 674.05.053:621.93

Аспір. М.Р. Бурдяк<sup>1</sup> – НЛТУ України, м. Львів

### **СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ОРТОПИЛЯННЯ КОЛОД НА ВЕРСТАТАХ ІЗ ПОВНИМ РОБОЧИМ ЦИКЛОМ**

Визначено основні недоліки пиляння деревини круглими пилками із попутною подачею. Наведено схему та виконано опис вдосконаленого механізму різання із підрізною пилкою. Проведено аналіз силових та енергетичних показників процесу пиляння із попутною подачею.

**Ключові слова:** ортопиляння, попутна подача, механізм різання, підрізна пилка.

**Актуальність теми.** Однією з особливостей круглопилкових верстатів для ортопиляння колод є можливість здійснення повного робочого циклу випилювання пиломатеріалів [1]. Повний робочий цикл охоплює два робочих ходи пилкового супорта. Під час першого (прямого) ходу здійснюється пиляння із зустрічною подачею, а під час другого (зворотного) – із попутною. Проте більше половини верстатів ортопиляння працюють з неповним робочим циклом, тобто під час прямого ходу пилкового супорта здійснюється пиляння із зустрічною подачею, а на зворотному здійснюється холостий хід.

Причиною відсутності зворотного робочого ходу є процес пиляння із попутною подачею, під час якого виникає більш інтенсивне затуплення інстру-

<sup>1</sup> Наук. керівник: доц. М.І. Пилипчук, канд. техн. наук