

АНОТАЦІЯ

Криволапов Д. С. «Високонатовнені деревинно-полімерні композити будівельного призначення на основі поліолефінів». – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія. Навчально-науковий інститут «Український державний університет науки і технологій» Українського державного університету науки і технологій, Дніпро, 2025.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню нових матеріалів, які поєднують у собі властивості деревини та полімерів. У роботі розглядаються основні аспекти створення, модифікації та застосування деревинно-полімерних композитів (ДПК), що відкриває нові можливості для їх використання в різних галузях промисловості. Зокрема, розглядається можливість використання у якості мінерального наповнювача зольного пилу та фосфогіпсу, а також у якості апрету або компатибілізатору стеаринової кислоти та епоксидованої соєвої олії.

Основна мета дослідження полягає в розробці ефективних технологій виготовлення композитів, які б забезпечували високу міцність, довговічність та стійкість до зовнішніх впливів. У роботі аналізуються різні методи модифікації деревинно-полімерних композитів, а також особлива увага приділяється вивченню впливу добавок та модифікаторів на фізико-механічні, технологічні та експлуатаційні властивості отриманих композитів. Дослідження також включає експериментальні випробування, які дозволяють оцінити ефективність запропонованих рішень та їх практичну застосовність. Результати роботи можуть бути використані для створення нових екологічно чистих матеріалів, що відповідають сучасним вимогам сталого розвитку.

Результати експериментальних досліджень продемонстрували, що введення стеаринової кислоти в деревинно-полімерний композит у кількості понад 1,1 мас. % позитивно впливає на технологічні параметри екструзії.

Зокрема, спостерігається зменшення крутного моменту головного приводу екструзійного обладнання, що свідчить про поліпшення процесу екструзії, а також збільшення продуктивності виробництва. При вмісті стеаринової кислоти в межах 0,8 – 1,25 мас. % відзначається суттєве покращення фізико-механічних характеристик композиту. Зокрема, міцність при вигині зростає на 20%, досягаючи значення 51,3 МПа. Крім того, ударна в'язкість за методом Шарпі на зразках з надрізом збільшується на 37%, до 11,9 кДж/м². Також спостерігається зменшення коефіцієнта лінійного термічного розширення та водопоглинання, що свідчить про поліпшення стабільності матеріалу в умовах зміни температури та вологості. Оптимізація вмісту стеаринової кислоти в деревинно-полімерному композиті може суттєво підвищити його експлуатаційні характеристики, що робить цей матеріал більш привабливим для використання в різних галузях промисловості.

Вперше показано, що введення епоксидованої соєвої олії у склад деревинно-полімерного композиту у кількості 0,5 мас.% суттєво покращує фізико-механічні та експлуатаційні властивості матеріалу. Ударна в'язкість за Шарпі на зразках з надрізом зростає з 7,5 кДж/м² до 20,0 кДж/м², що свідчить про значне підвищення стійкості композиту до ударних навантажень. Міцність при вигині також демонструє позитивну динаміку, збільшуючись з 31,6 МПа до 50,8 МПа, що вказує на покращення механічних характеристик матеріалу. Крім того, введення епоксидованої соєвої олії приводить до зменшення коефіцієнта лінійного термічного розширення на 15%, що є важливим фактором для стабільності розмірів композиту при зміні температури. Це покращує експлуатаційні характеристики матеріалу, роблячи його більш придатним для використання в умовах змінних температур. При подальшому збільшенні вмісту епоксидованої соєвої олії в композиті спостерігається зменшення водопоглинання та технологічної усадки, що може бути позитивним аспектом для деяких застосувань. Проте, варто зазначити, що фізико-механічні властивості композиту починають погіршуватися. Це свідчить про те, що оптимальний вміст епоксидованої соєвої олії в деревинно-

полімерному композиті становить 0,5 мас.%. Подальше збільшення цього показника може призвести до негативних наслідків, таких як зниження механічної міцності та ударної в'язкості, що, в свою чергу, обмежує можливості використання композиту в умовах, де потрібні високі експлуатаційні характеристики.

Встановлено, що при заміщенні кальциту зольним пилом у композитних матеріалах спостерігається суттєве покращення їх експлуатаційних та технологічних властивостей. Зокрема, відзначається зменшення водопоглинання, коефіцієнта лінійного термічного розширення та технологічної усадки. Це свідчить про підвищення стабільності матеріалу під час експлуатації, що є важливим фактором для багатьох застосувань. Крім того, використання зольного пилу в якості наповнювача приводить до збільшення міцності композиту при вигині. Зокрема, міцність зростає на 9 %, підвищуючи показник з 51,3 МПа (при відсутності зольного пилу) до 55,8 МПа (при відсутності кальциту). Це свідчить про те, що зольний пил може значно покращити механічні характеристики композиту. Однак, незважаючи на позитивні зміни в міцності, спостерігається також зниження ударної в'язкості за Шарпі на зразках з надрізом. Цей показник зменшується більш ніж у два рази — з 11,9 кДж/м² до 5,1 кДж/м². Це вказує на те, що хоча зольний пил покращує деякі властивості композиту, він може негативно впливати на його ударну в'язкість, що варто враховувати при проектуванні матеріалів для специфічних умов експлуатації.

Показано, що при заміщенні у композиті кальциту фосфогіпсом експлуатаційні, фізико-механічні та технологічні властивості матеріалу залишаються стабільними. Це важливий аспект, оскільки забезпечує збереження якості виробів, виготовлених на основі таких композитів. Фосфогіпс, будучи дешевим побічним продуктом виробництва екстракційної фосфорної кислоти, відкриває нові можливості для зниження собівартості виробів. Використання фосфогіпсу в деревинно-полімерних композитах відкриває нові можливості для розробки матеріалів з покращеними

характеристиками. Це може бути особливо актуально в умовах зростаючих вимог до екологічності та сталого розвитку. Фосфогіпс, як побічний продукт, може зменшити витрати на сировину та знизити екологічний слід виробництва, що робить його привабливим вибором для промисловості.

Побудовані регресійні моделі є статистично адекватними, підтверджуючи значущий вплив модифікаторів (епоксидованої соєвої олії та зольного пилу). Важливо відзначити, що взаємодія між епоксидованою соєвою олією та зольним пилом виявилася статистично незначущою як для міцності при вигині, так і для ударної в'язкості, що вказує на переважно адитивний характер їхнього спільного впливу в досліджуваному діапазоні. Отримані результати надають практичну основу для оптимізації складу ДПК з метою покращення їхніх механічних властивостей, що сприятиме розширенню сфер застосування цих екологічно привабливих матеріалів.

Розроблені високонаповнені деревинно-полімерні композити з гібридним наповнювачем поєднують екологічність та високу продуктивність, використовуючи переважно відходи та вторинні матеріали. Ці матеріали демонструють високу міцність, стійкість до термічних деформацій та водостійкість, що робить їх ідеальними для використання у будівництві та виробництві меблів. ДПК характеризуються довговічністю: вони не піддаються впливу вологи, не гниють та стійкі до шкідників, що значно знижує потребу в частих ремонтах. Тому їх можна застосовувати у зовнішніх конструкціях (тераси, огорожі, фасади), де важлива стійкість до атмосферних впливів.

Композити легко адаптуються для різних застосувань завдяки можливості варіювання складу наповнювачів. Використання вторинних матеріалів та зменшення витрат на обробку робить їх виробництво економічно вигідним. У контексті глобальних екологічних викликів, ці ДПК є доцільним та необхідним рішенням.

Розроблена рецептура деревинно-полімерного композиту успішно апробована у виробничих умовах. Експериментальна партія продукції

підтвердила стабільність фізико-механічних властивостей, економічну ефективність та екологічну доцільність запропонованого підходу. Впровадження забезпечило відчутний економічний ефект, зумовлений зниженням собівартості, енергоспоживання та мінімальними витратами на адаптацію технології. Це свідчить про готовність матеріалу до серійного застосування та його конкурентоспроможність на ринку оздоблювальних виробів.

Ключові слова: деревинно-полімерний композит, поліетилен високої густини, стеаринова кислота, зольний пил, епоксидована соєва олія, фосфогіпс, кальцит, технологічна усадка, водопоглинання, фізико-механічні властивості.

ABSTRACT

Kryvolapov D.S. Wood-polymer composites based on polyolefins. – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 161 "Chemical Technologies and Engineering". Ukrainian State University Of Science And Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2026

The dissertation is devoted to the study of new materials that combine the properties of wood and polymers. The paper discusses the main aspects of the creation, modification and application of wood-polymer composites, which opens up new opportunities for their use in various industries. In particular, the possibility of using fly ash and phosphogypsum as mineral fillers, as well as stearic acid and epoxied soybean oil as adretes or compatibilizers is considered.

The main purpose of the study is to develop effective technologies for the manufacture of composites that would provide high strength, durability and resistance to external influences. The paper analyses various methods of modifying wood-polymer composites, and pays special attention to the effect of additives and modifiers on the physical, mechanical, technological and operational properties of the resulting composites. The research also includes experimental tests to assess the effectiveness of the proposed solutions and their practical applicability. The results of the work can be used to create new environmentally friendly materials that meet modern requirements for sustainable development.

The results of experimental studies have shown that the introduction of stearic acid into a wood-polymer composite in an amount of more than 1.1 wt. % has a positive effect on the technological parameters of extrusion. In particular, there is a decrease in the torque of the main drive of the extrusion equipment, which indicates an improvement in the extrusion process and an increase in production capacity. At a stearic acid content of 0.8-1.25 wt. %, there is a significant improvement in the physical and mechanical characteristics of the composite. In particular, the bending strength increases by 20%, reaching a value of 51.3 MPa. In

addition, the Charpy impact strength of the notched specimens increases by 37%, up to 11.9 kJ/m². There is also a decrease in the coefficient of linear thermal expansion and water absorption, which indicates an improvement in the stability of the material under conditions of temperature and humidity changes. Optimising the stearic acid content in a wood-polymer composite can significantly improve its performance, making this material more attractive for use in various industries.

For the first time, it was shown that the introduction of epoxidised soybean oil in the amount of 0.5 wt.% in the wood-polymer composite significantly improves the physical, mechanical, and operational properties of the material. The Charpy impact strength of the notched specimens increases from 7.5 kJ/m² to 20.0 kJ/m², which indicates a significant increase in the composite's resistance to impact loads. The bending strength also demonstrates positive dynamics, increasing from 31.6 MPa to 50.8 MPa, indicating an improvement in the mechanical characteristics of the material. In addition, the introduction of epoxy soybean oil leads to a 15% reduction in the coefficient of linear thermal expansion, which is an important factor for the dimensional stability of the composite with temperature changes. This improves the performance of the material, making it more suitable for use in variable temperatures. With a further increase in the content of epoxied soybean oil in the composite, a decrease in water absorption and process shrinkage is observed, which can be a positive aspect for some applications. However, it is worth noting that the physical and mechanical properties of the composite begin to deteriorate. This indicates that the optimal content of epoxied soybean oil in a wood-polymer composite is 0.5 wt%. A further increase in this indicator can lead to negative consequences, such as a decrease in mechanical strength and impact strength, which, in turn, limits the possibility of using the composite in conditions where high performance is required.

It has been established that the replacement of calcite with fly ash in composite materials leads to a significant improvement in their operational and technological properties. In particular, there is a decrease in water absorption, the coefficient of linear thermal expansion and technological shrinkage. This indicates

an increase in material stability during operation, which is an important factor for many applications. In addition, the use of fly ash as a filler leads to an increase in the bending strength of the composite. In particular, the strength increases by 9 %, rising from 51.3 MPa (in the absence of fly ash) to 55.8 MPa (in the absence of calcite). This indicates that fly ash can significantly improve the mechanical properties of the composite. However, despite the positive changes in strength, there is also a decrease in Charpy impact strength on the notched specimens. This indicator decreases by more than half - from 11.9 kJ/m² to 5.1 kJ/m². This indicates that although fly ash improves some of the properties of the composite, it can negatively affect its impact strength, which should be taken into account when designing materials for specific operating conditions.

It has been shown that when calcite is replaced by phosphogypsum in the composite, the operational, physical, mechanical, and technological properties of the material remain stable. This is an important aspect as it ensures that the quality of products made from such composites is maintained. As a cheap by-product of phosphoric acid production, phosphogypsum opens up new opportunities to reduce the cost of products. The use of phosphogypsum in wood-polymer composites opens up new opportunities for the development of materials with improved characteristics. This may be particularly relevant in the context of growing environmental and sustainability requirements. As a by-product, phosphogypsum can reduce raw material costs and lower the environmental footprint of production, making it an attractive choice for industry.

The constructed regression models are statistically adequate, confirming the significant influence of the modifiers (epoxidized soybean oil and fly ash). It is important to note that the interaction between epoxidized soybean oil and fly ash proved to be statistically insignificant for both flexural strength and impact toughness, indicating a predominantly additive nature of their combined effect within the investigated range. The obtained results provide a practical basis for optimizing the composition of wood-plastic composites to enhance their mechanical

properties, which will support the expansion of application areas for these environmentally attractive materials.

The developed highly filled wood-polymer composites with a hybrid filler combine environmental sustainability and high performance, utilizing primarily waste and recycled materials. These materials exhibit high strength, resistance to thermal deformation, and water resistance, making them ideal for use in construction and furniture manufacturing. WPCs are characterized by durability: they are impervious to moisture, do not rot, and are resistant to pests, significantly reducing the need for frequent repairs. Therefore, they can be applied in outdoor structures (terraces, fences, facades), where resistance to weathering is essential.

The composites are easily adaptable for various applications due to the ability to vary the composition of fillers. The use of recycled materials and reduced processing costs make their production economically advantageous. In the context of global environmental challenges, these WPCs represent a reasonable and necessary solution.

The developed wood-polymer composite formulation was successfully tested under industrial conditions. The experimental batch of products confirmed the stability of physical and mechanical properties, economic efficiency, and environmental viability of the proposed approach. Implementation resulted in a tangible economic benefit due to reduced production costs, lower energy consumption, and minimal expenses for technology adaptation. These outcomes demonstrate the material's readiness for large-scale application and its competitiveness in the decorative building materials market.

Keywords: wood-polymer composite, high-density polyethylene, stearic acid, ash dust, epoxidised soybean oil, phosphogypsum, calcite, technological shrinkage, water absorption, physical and mechanical properties.