

УДК 678.631.1

## ДО ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ПОСІВНОЇ ТЕХНІКИ

Деркач О.Д., PhD, к. т. н., Артемчук В.В., д.т.н., доценти,  
Муранов Є.С., інженер-дослідник  
(Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет)

*Наведений аналіз технологічності переробки конструкційних пластиків при застосуванні в посівній техніці. Визначені пріоритетні матеріали. Наведені результати лабораторних випробувань вуглепластиків у розчинах водних емульсій, визначено їх вплив на трибологічні властивості. Показано, що застосування вуглепластиків на основі аліфатичних поліамідів у конструкціях посівної техніки забезпечує підвищення ефективності їх використання та призводить до зростання урожаю.*

Використання полімерних композитних матеріалів (ПКМ) у машинобудуванні, у т.ч. сільськогосподарському, сьогодні займає чинне місце і є одним із основних показників технічної досконалості виробу. Це стосується і посівної техніки, яка сьогодні, задля забезпечення якомога точнішого виконання агропромислових, постійно ускладнюється.

**Постановка проблеми.** Проблема розробки та впровадження нових конструкційних пластиків у с.-г. машинобудуванні досліджувалася багатьма вченими, зокрема, такими як Абрамов Л.М., Крейдлін Л.М., Климчук Ю.Ф., Буря О.І., Цурпал І.А., Murgas M. [1-5] та багато інших. Досліджувалися процеси старіння пластиків [6] та методи термообробки [7] для оптимізації фізико-механічних та хімічних властивостей виробів. Отримані результати у дослідженнях та впровадженні ПКМ у с.-г. машинобудуванні визначили доцільність впровадження вуглепластиків (ВП), бо вони одночасно поєднують широкий спектр властивостей [8-10], недосяжних для інших матеріалів, у т.ч. і композитів. Серед таких ВП, що при застосуванні їх в с.-г. машинах забезпечують підвищення ресурсу, надійності, зниження енергоємності використання машин є ВП на основі поліаміду-6 (6,6; 12 та ін.) та фенілону [11-13].

Сьогодні оптимальними методами переробки сировини ПКМ у виробі слід вважати: пряме компресійне пресування, лиття під тиском, методи екструзії та пултрузії.

Вченими наукової школи «Полімерні композити в АПК» (засновник, проф. Буря О.І.) розроблено ряд ВП, що призначалися для використання у конструкціях с.-г. техніки. Деякі властивості розроблених ВП (табл. 1) показують, що вони мають досить широкий діапазон фізико-механічних властивостей, на що впливає, зокрема, технологія переробки.

Таблиця 1 – Деякі властивості вуглепластиків, розроблених в ДДАЕУ

Параметр	Вуглепластик	
	на основі аліфатичного поліаміду 6	на основі ароматичного поліаміду С-2 (Фенілон)
Вміст вуглецевого волокна, %	40	17
Щільність, г / см <sup>3</sup>	1,17	1,4
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	35	22
Межа міцності при стисканні, МПа	166	293
Інтенсивність лінійного зносу, 10 <sup>-8</sup> :		
- сухе тертя	0,66	0,08
- при змащуванні оливою	0,05	0,03...0,05
Коефіцієнт тертя: - сухе тертя	0,16...0,24	0,23
- при змащуванні водою	0,03	0,06...0,12
- при змащуванні оливою	0,01	0,018...0,05
Теплостійкість за Віка, К	497	558

\*Тертя без змащення: навантаження – 0,2...1 МПа, швидкість ковзання 0,5...2,5 м/с.

Як видно з табл. 1, ВП на основі фенілону С-2 має кращі трибологічні та міцнісні властивості, що могло б бути обґрунтованим при впровадженні у с.-г. машинобудування. Дійсно, у роботах [13-15] до впровадження в конструкції с.-г. машин пропонується використання різних ВП на основі фенілону С-2 або С-1. Водночас, у [14] вказано, що через наявність жорстколанцюгової структури та вузького температурного інтервалу переходу вихідного матеріалу (в'язучого) фенілону С-2 у в'язкотекучий стан (322...325°C), що межує з температурою деструкції, переробку здійснювали методом компресійного пресування. Деталі із ВП на основі ароматичних поліамідів отримують шляхом прямого компресійного пресування у формах з обігрівом, що є непродуктивним, ресурсо- і енергозатратним методом. Водночас, у цій же роботі запропоновано до впровадження в якості деталей тертя в сівалки СЗ-3,6, але одна така сівалка має 48 дисків, а отже тільки на одну машину необхідно 48 підшипників ковзання. Технологія переробки ВП у вироби має бути високопродуктивною. Однак, переробку цих матеріалів методом лиття під тиском здійснювати неможливо [16]. Крім того, сьогодні вихідні в'язучі для створення ПКМ на основі С-1 та С-2 в Україні не виготовляються і є надто дорогими для впровадження саме у с.-г. машинобудуванні.

Тобто, функціональна залежність отримання готової деталі необхідної якості з ВП має вигляд:

$$K = f(Z, T, P), \quad (1)$$

де  $K$  – якість деталі з ВП;  $Z, T, P$  – фактори, що характеризують сировину, технологію виготовлення, режим термообробки виробу (у разі необхідності).

Тоді, функція технології виготовлення на основі ароматичного поліаміду (172РЗ) матиме вигляд:

$$T_1 = f(ПВ, Д, Зм, Хп, Сз, Гп, МО). \quad (2)$$

У той час функція технології виготовлення на основі аліфатичних поліамідів (УПА-6-30/40) має спрощений вигляд:

$$T_2 = f(Сс, Л, МО). \quad (3)$$

Як видно з даних, наведених в табл. 2 та формул (2, 3), ВП марок УПА-6-30/40 мають значні переваги в технологічності переробки.

Таблиця 2 – Порівняння основних технологічних операцій при переробці ПКМ на основі ароматичного (172РЗ) та аліфатичного (УПА-6-30) поліамідів у виробі

Марка ВП	Тривалість операції орієнтовна, хв.	Марка ВП	Тривалість операції орієнтовна
172РЗ		УПА-6-40	
Підготовка (подрібнення) волокна (ПВ)	6-7 год. на 1 кг виробів	Сушіння сировини (Сс)	3 год.
Дозування сировини (Д)	10 хв.	Литво (Л)	10...30 с / 1 виріб
Змішування компонентів в електромагнітному полі (Зм)	1 хв. / 100 г	Механічна обробка (МО)	За необхідності точності до 0,2 мм
Холодне пресування (Хп)	7 хв. / 1 виріб	Готова деталь	
Сушіння заготовок (Сз)	3 год.	Енергозатрати, кВт·год / 1 деталь	0,85
Гаряче компресійне пресування за $t = 325^{\circ}\text{C}$ (Гп)	До 1 год. на 1 виріб	Продуктивність технологічного процесу, виробів / годину	10...500
Механічна обробка (МО)	За необхідності точності до 0,05 мм	Область вивільнення ресурсів: - людських; - інтелектуальних; - матеріальних; - грошових; - часових.	
Готова деталь			
Енергозатрати, кВт·год / 1 деталь	4		
Продуктивність технологічного процесу, виробів / годину	1...1,2		

Дослідженнями встановлено, що у рухомих з'єднаннях трибосистем різної с.-г. техніки, які є предметом щодо впровадження ВП, навантаження коливаються від 1,63 [16] до 2377 Н [17]. За таких навантажень ВП на основі ПА-6 виконують функціональні завдання триботехніки: забезпечується низький коефіцієнт тертя без змащення та висока зносостійкість. При цьому, нами доведена доцільність застосування і підтверджено роботоздатність вищевказаних ВП у посівних машинах типу Turbosem II 19-60 (48) [17].

Крім того, вироби із ВП марки УПА-6-40 та інших термопластичних аналогів доцільно піддавати повторній переробці - рециклінгу (табл. 3).

Таблиця 3 – Динаміка зносу зразків\* з УПА-6-40 при рециклінгу, мг

Швидкість ковзання, м/с	1,0	1,5	2,0	2,5
Перша переробка	0,3	0,7	0,86	1,66
Друга	0,74	1,4	руйнування	----
Третя	0,8	1,63	0,65	руйнування

\*були використані зразки, діаметром і висотою 10 мм.

Встановлено, що після третьої переробки у зразків знову зростає несуча здатність, що в цілому, характерно для ПКМ. Це пояснюється зростанням відносної кількості карбону (вуглецевих волокон), який з'являється в процесі термодеструкції, що в свою чергу призводить до покращення змащувальних властивостей деталі.

Проте, ВП на основі ПА-6 є гігроскопічними матеріалами і наявність вологи може призводити до зміни трибологічних і фізико-механічних властивостей. Тому, проводили лабораторні дослідження триботехнічних характеристик УПА-6-30 у водних та оливних емульсіях.

**Лабораторні дослідження.** Здійснювалися на машині тертя 2070 СМТ-1 за схемою "Сталевий диск – колодка з ВП". Змащування пари тертя забезпечували частковим зануренням контртіла у ванну зі змащувальним розчином. Змащувальні середовища склалися з води з додаванням 5 мас. % емульсії "Вітал", чистої оливи И-40 і двох композицій на основі цих складових. Об'єм змащувального середовища – 0,5 дм<sup>3</sup>. Лінійна швидкість ковзання була постійною і становила 1,15 м / с, а тиск – змінним і знаходився в межах 3...12 МПа. Шлях тертя – 2000 м. Зміна маси зразків фіксувалася після кожного досліду за допомогою аналітичних терезів ВЛР-200 згідно ГОСТ 24004-80. Аналіз графіків, наведених на рис. 1 показує, що максимальні значення коефіцієнта тертя ( $\alpha$ ) – 0,039...0,052 – спостерігаються при використанні змащувальної композиції №1 (вода-95% + Вітал-5%). Зі зменшенням її частки у змащувальному середовищі і, отже, зі збільшенням процентного вмісту оливи И-40, коефіцієнт тертя поступово знижується.

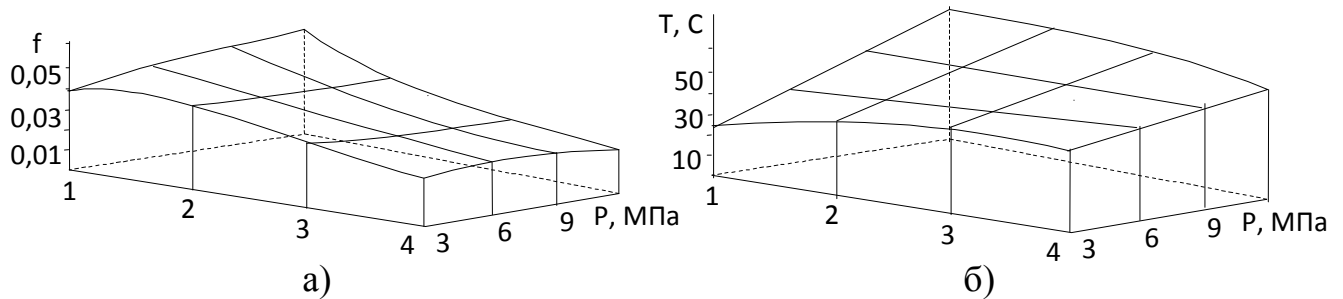


Рисунок 1 – Вплив складу змащувальної композиції та тиску  $P$  на коефіцієнт тертя  $f$  (а) і температуру в околі контакту (б): 1 – Вода-95%+Вітал-5% (І); 2 - (І) – 50% + олива И-40 – 50%; 3 - (І) – 25% + олива И-40 – 75%; 4 – олива И-40 чиста.

А при терті в чистій оливі (крива 4) знижується майже в 2 рази в порівнянні з мастилом в емульсії 1. Тиск не чинить явного впливу на коефіцієнт тертя в заданих умовах роботи і змінюється в межах 3...5 %. Лише при використанні емульсії (І) спостерігається динаміка до його зростання.

Більш динамічно змінюється температура змащувального середовища (рис.1, б). Вона залежить як від її виду, так і від тиску. Проте, навіть за найбільшого коефіцієнта тертя – 0,052 (крива 1) – температура середовища не перевищує 52°C, що знаходиться в зоні нормального робочого режиму для даних ВП. В цілому залежності (а) і (б) корелюють між собою.

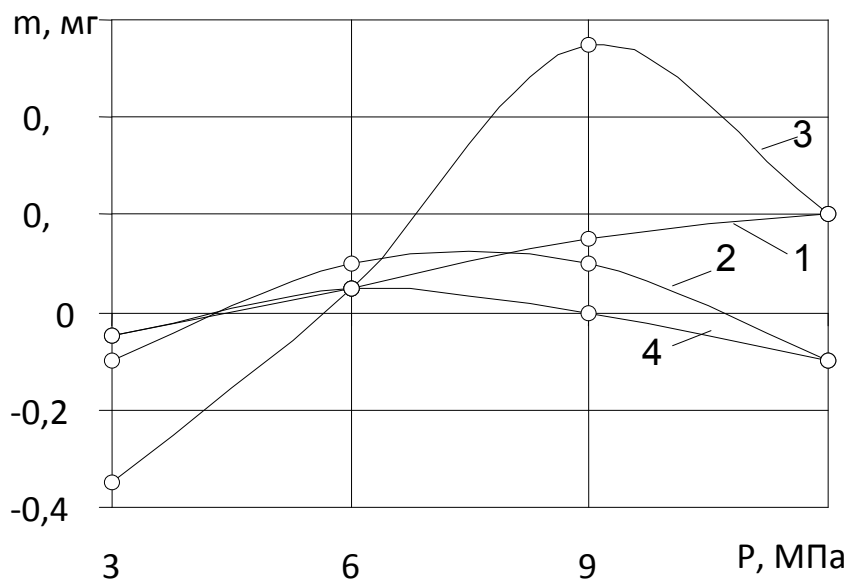


Рисунок 2 – Вплив складу змащувального середовища і тиску на зміну маси зразків: 1 – Вода-95% + Вітал-5% (І); 2 - (І) – 50% + олива И-40 – 50%; 3 – (І) – 25% + олива И-40 – 75%; 4 – олива И-40 чиста

Певна залежність виявлена і при зміні маси зразків (рис.2). Як видно з графіків, за умови прикладення мінімального тиску – 3 МПа – всі зразки незначно зменшують свою масу. Але за зростання тиску до 9 МПа маса зразків також збільшується. Очевидно, це явище пояснюється поглинанням зразками змащувального середовища (емульсії). Дійсно, відомо, що ВП на основі термопластів мають відкриту пористу структуру до 3 % [11]. Під зростанням і дією тиску до певних меж (а в даному випадку до 9 МПа), мікропори розкриваються ширше, збільшуючи поглинання вологи зразком аж до його максимального насичення. При досягненні більших значень тиску (12 МПа), зразок уже не здатний поглинати вологу, а навпаки, в деякій степені починає втрачати її, відповідно збільшується його знос і маса зменшується.

Таким чином виявлено, що ВП на основі аліфатичних поліамідів можуть ефективно використовуватись у відкритих технічних системах типу «рухомі з'єднання посівних машин», здатні працювати у водно-оливних емульсіях зі збереженням властивостей і забезпеченням необхідних характеристик механізмів. Для унеможливлення попадання вологи, яка може містити домішки, що можуть спричинити зниження фізико-механічних та трибологічних властивостей ВП розроблена методика термообробки готових деталей у різних рідинних середовищах, що чинять протекторну дію [20].

**Впровадження результатів досліджень.** Розглянемо деякі позитивні ефекти від впровадження результатів роботи в системах посівної техніки. Так, впровадження даних ВП в посівні комплекси, наприклад, «Агро-Союз Turbosem II 19-60» дозволили оптимізувати систему ТО (табл. 4). При цьому загальні трудозатрати на проведення ТО таких комплексів зменшено на 25 %.

Таблиця 4 – Таблиця мащення посівного комплексу Агро-Союз Turbosem II 19-60 (48) [21]

Кількість точок змащування	Розташування точки обслуговування (змащування)	Періодичність обслуговування (в годинах)	
		до	після
5	Паралелограм: опора передніх коліс	72	-
1	Втулки у важелях коліс копіювання	24	24
1	Втулки у важелях прикочуючих коліс	48	-
1	Маточина опорного колеса центральної рами	72	72
2	Підшипники опорного колеса крайньої рами	72	72
1	Палець рами	72	72
3	Втулка маркера	48	48
1	Втулка в нижньому паралелограмі	48	-
1	Змінна втулка в сошнику	48	48

На основні аналізу конструкцій сошників та систем, що забезпечують їх функціонування встановлено, що широке застосування знаходять дисково-анкерні сошники (ДАС), які забезпечують найвищу якість сівби. Однак, такі системи мають малу періодичність обслуговування через складну конструкцію. Встановлено, що навіть останні моделі просапних сівалок компанії Deere&Company [22] та ПАТ «Червона Зірка» [23] мають значну кількість точок змащування. Наприклад, у конструкції сівалки Вега-16 (ПАТ «Червона Зірка») тільки в механізмі копіювання знаходяться 32 точки змащування, які потребують обслуговування кожні 100 га наробітку. Посівний комплекс «Агро-Союз Turbosem II 19-60», випуск якого налагоджено в холдингу «Агро-Союз» (м. Дніпро) має 240 точок мащення, що потребує значних затрат змащувальних матеріалів та праці механізатора, а це значно збільшує час простоювання агрегату. Обслуговування деяких з них необхідно проводити щонайменше через 48 годин наробітку [21]. Аналогічні конструкції дисково-анкерних сошників застосовуються і такими крупними світовими виробниками як Gaspardo, Kinze, Great Plains. Тобто, сьогодні жоден з виробників світу не відмовився від традиційного підходу до технічної експлуатації сівалок та посівних комплексів, що для фермера стає проблемою. Її можна вирішити застосуванням полімерних композитів (ПК) в конструкції посівних машин. ПК володіють високими триботехнічними та міцнісними властивостями, мають малу вагу та володіють здатністю вибіркового переносу.

Трирічними польовими випробуваннями встановлено, що застосування ВП в модернізованих посівних комплексах Turbosem II 19-60, забезпечує виконання агротехнічних вимог до сівби на швидкостях, більших, ніж рекомендує виробник [21]. Так, в зоні Степу України вищезначені посівні комплекси здійснювали якісний посів на швидкостях 10 та 12 км/год. При цьому, коректна робота посівної машини була забезпечена повністю, критерій глибини загортання насіння забезпечено в межах агро вимог. Це пояснюється меншим коефіцієнтом тертя у трибосистемі «ВП-сталь», у порівнянні із системою «Сталь-сталь». Це забезпечує пришвидшення реагування системи копіювання поверхні ґрунту (СКПГ) машини на зміну рельєфу і укладка насіння здійснюється із меншим запізненням (до 0,1 с). Враховуючи, що модернізовані системи машини є такі, що не потребують обслуговування, темп робіт зріс мінімум на 10 %, а затрати на ТО всього комплексу орієнтовно зменшилися на 25 %. Зафіксований наробіток без проведення ТО і ремонту посівним комплексом Turbosem II 19-60 складає 17 251 га. Моніторинг наробітку та якості виконання сівби продовжується.

Сьогодні ДДАЕУ разом з ТОВ «НФП «Союз-Композит» (м. Дніпро) змогли успішно реалізувати технологію модернізації СКПГ на посівних машинах і комплексах John Deere 1890, John Deere 1895, John Deere 7000, деяких моделях Gaspardo, Kinze та ін.

При випробуваннях модернізованих машин нами також виявлено стійкий приріст урожаю пшениці озимої від 0,3 до 0,6 т/га. Це пояснюється тим, що модернізована система СКПГ забезпечує відхилення від обраної глибини загортання насіння до 5...7% (проти 15...27% у разі використання серійних машин) і, як наслідок, кількість одновікових рослин зростає. При обробці гербіцидами практично всі рослини перебувають у фазі неураження і не пригнічуються діями хімікатів. Це є основною причиною забезпечення зростання урожайності.

**Висновки.** Встановлено, що модернізацію відкритих трибосистем посівних машин доцільно здійснювати застосуванням вуглепластиків на основі аліфатичних поліамідів (УПА-6-10, УПА-6-20 УПА-6-30 і т.д.), так як технологія їхньої переробки має вищі технологічні параметри, ніж, наприклад, вуглепластики на основі ароматичних поліамідів (на основі фенілонів С-1, С-2 та ін.). При цьому функціонування трибосистем забезпечується повністю.

Доведена роботоздатність вуглепластика УПА-6-30 у розчинах водних емульсій, де максимальний коефіцієнт тертя складає 0,052 за питомого тиску 12 МПа.

Застосування таких матеріалів у посівних машинах і комплексах вітчизняного та зарубіжного виробництва забезпечує: зменшення витрат на технічне обслуговування до 25%, зростання темпу робіт – на 10 % мінімум, приріст урожаю по пшениці озимій – від 0,3 до 0,6 т/га.

### Список літератури

1. Абрамов Л.М. Состояние и перспективы применения и изготовления пластмассовых деталей тракторов и сельхозмашин [Текст] / Л.М.Абрамов, Л.М.Крейдлин, Ю.Ф.Климчук // Применение полимерных материалов в сельскохозяйственных машинах: Тез. докл. всесоюзн. научн.-техн. семинара. – Ростов-на-Дону, 1980, ч.І. - С. 4-7.

2. Абрамов С.К. Полимерные материалы в сельскохозяйственном машиностроении: Монография [Текст] / С.К.Абрамов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 225 с.

3. Цурпал И.А. Перспективы снижения металлоемкости и повышения надежности сельскохозяйственной техники [Текст] / И.А.Цурпал // Научно-технический прогресс в машиностроении. Вып.1: Композиц. материалы. – М.: МЦНТИ – 1987. – С. 18 –32.

4. Murgas M. Износостойкие материалы для сельскохозяйственного машиностроения [Текст] / М.Murgas // Mech. Zemed. – 1990. Vol. 40, №10. – P. 451-453.



5. Burya A.I. Tribological characteristics of carbon plastics on the basis of polyamide [Текст] / A.I.Burya, A.A.Burya, S.A.Cherepov, T.I.Rybak // Journal of the Balkan Tribological Association, 1996, Vol.2, No 3, С.153-160.
6. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях: Монография [Текст] / Н.Н. Павлов. – М.: Химия, 1982. – 220с.
7. Кестельман Н.Я. Термическая обработка полимерных материалов в машиностроении [Текст] / Н.Я.Кестельман. – М.: Машиностроение, 1968 – 266с.
8. Carbon fibre hoops hesten repair of fertilizer tower // *Atv. Compos. Bull.*-2002. Apr. – P. 4–5.
9. Буря А.И. Применение углепластиков - перспективный путь повышения надежности сельскохозяйственной техники [Текст] / А.И.Буря // Полимерные композиционные материалы в изделиях машиностроения и товарах народного потребления: Тезисы докладов. – М, 1991. – С. 44–45.
10. Буря А.И. Свойства и опыт применения углепластиков в сельхозмашиностроении [Текст] / А.И.Буря // Методические рекомендации. – К. Знание, 1992. – С. 28.
11. Буря А.И. Трение и изнашивание углепластиков на основе ароматических полиамидов [Текст] / А.И.Буря // Трение и износ. 1989. – Т.22, №6. – С.677– 683.
12. Буря А.И. Трение и износ полиамида-6 и углепластика на его основе [Текст] / А.И.Буря, Б.И.Молчанов // Трение и износ. – 1992. – Т.13, №5. – С.900.
13. Буря О.І. Розробка, дослідження і використання полімерів, армованих хімічними волокнами, в конструкціях сільськогосподарських машин: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.04 / Тернопільський приладобуд. ін-т – Тернопіль, 1993. – 32 с.
14. Арламова Н.Т. Розробка та дослідження властивостей композитів на основі фенілону для вузлів тертя посівних машин : Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.06 / Український державний хіміко-технологічний університет, 2001. – 15 с.
15. Кузнецова О.Ю. Розробка фулеренвмісних композитних матеріалів на основі фенілону для деталей конструкційного призначення: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.01 / Луцький національний технічний університет, 2013. - 23с.
16. Буря А.И. Расчет нагрузок и давлений в зоне контакта сопряжения “глазок-палец” жатки зерноуборочного комбайна [Текст] / А.И.Буря, Б.И.Пелешенко, А.Д. Деркач // Трение и износ, Том 25, №5, 2004, с. 504-511.
17. Деркач А.Д. Применение углепластиков в широкозахватных посевных машинах [Текст] / А.Д. Деркач, Д.А.Макаренко, Н.Н.Науменко // *Mechanization in agriculture / International scientific, scientific applied and informational journal.* Year LXI, 2/2015, Sofia, с. 3-6.

18. Сытар В.И. Изучение взаимосвязи свойств и строения сополимеров на основе ароматических полиамидов [Текст] / В.И. Сытар // Вопросы химии и химической технологии. – 2004. – №3. – С.130-132.
19. Складний композиційний матеріал. Патент на корисну модель № 88874U. Деркач О.Д., Шаповал О.М., Прокаєв С.Ф. та ін., 10.04.2014, Бюл. № 7.
20. Кобец А. Decreasing the environment influence on composite materials [Текст] / А.Кобец, А.Деркач, Д.Макаренко, А.Шаповал, О.Кабат // Научни Известия. Scientific Technical Union of Mechanical Engineering, Year XXIV, ISSUE 16 (202), June 2016. IV International Scientific and technical Congress “Agricultural Machinery”, 22-25.06.2016, Varna, Bulgaria, с.13-15.
21. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию сеялки Агро-Союз Turbosem II, с 57.
22. Интернет-джерело <http://agrotek.in.ua/>.
23. Интернет-джерело <http://www.chervonazirka.com>.

## Аннотация

### **К вопросу технологичности переработки полимерных композитов для посевной техники**

Деркач А.Д., Артемчук В.В., Муранов Е.С.

*Приведен анализ технологичности переработки конструкционных пластиков при применении в посевной технике. Определены приоритетные материалы. Приведены результаты лабораторных испытаний углепластиков в растворах водных эмульсий, определено их влияние на трибологические свойства. Показано, что применение углепластиков на основе алифатических полиамидов в конструкциях посевной техники обеспечивает повышение эффективности их использования и урожая*

## Abstract

### **REGARDING TO ISSUE OF MACHINABILITY PROCESSING THE POLYMERIC COMPOSITES FOR SEEDING MACHINES**

O. Derkach, V. Artemchuk, E. Muranov

*Analysis of machinability processing the polymeric plastics provided in the construction of seeding machines. The priority materials are found. The results conducted at the laboratory tests of carbon fibers which were exposed into the water mixtures and the impact of tribological indexes detected. It has been showed, that application the carbon fibers based on aliphatic polyamides in sowing machine's construction and allows us to arise the effectiveness in using and harvesting*