ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ІМ. Є.О. ПАТОНА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11

ПОГОДЖУЮ
Керівник установи Грантоотримувача
Директор ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України,
академік НАН України

_____ Ігор Крівцун
(підпис)

М.П.

ПРОМІЖНИЙ ЗВІТ
(анотований звіт)
про виконану роботу в рамках реалізації проєкту
з виконання наукових досліджень і розробок

Розробка біополімерних нанокомпозитних матеріалів для стимуляції регенерації живих тканин і загоєння ран
(назва Проєкту)

Науковий керівник проєкту _____ Валерій ДЕМЧЕНКО
(підпис)

Рік завершення, номер етапу 2024, №1

Підготовку звіту завершено «10» грудня 2024 р.

1. **Назва конкурсу** „Дослідницькі інфраструктури для проведення передових наукових досліджень"
2. **Номер державної реєстрації проєкту** 0124U004031
3. **Номер Договору про надання грантової підтримки** 133/0009
4. **Підстава для реалізації проєкту з виконання наукового дослідження і розробки**
   Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України
   протокол від «27» червня 2024 року № 20
5. **Найменування установи грантоотримувача** Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
6. **Власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ наукового керівника проєкту** Валерій ДЕМЧЕНКО
7. **Місце основної роботи та посада наукового керівника проєкту** Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, провідний науковий співробітник
8. **Терміни та тривалість виконання проєкту:**
   Тривалість проєкту 22,5 **місяців**
   Початок 01.08.2024
   Закінчення 31.12.2026
   Тривалість звітного етапу 4,5 **місяців**
   Початок 01.08.2024
   Закінчення 31.12.2024
9. **Обсяги фінансування проєкту:**
   Загальний обсяг фінансування:
   за заявкою на отримання грантової підтримки 21 809, 204 **тис. грн.**
   за рішенням наукової ради НФДУ 21 809, 204 **тис. грн.**
   Обсяг фінансування звітного етапу:
   за заявкою на отримання грантової підтримки 4 949, 329 **тис. грн.**
   за договором на отримання грантової підтримки 4 949, 329 **тис. грн.**
   фактичний 4 946, 28660 **тис. грн.**
10. **Перелік виконавців з оплатою праці**

№ з/п	Прізвище, ім`я, науковий ступінь, вчене звання	Основне місце роботи або навчання	Наявність статусу молодого вченого (на момент подачі звіту)	Посада за проєктом	Форма залучення виконавця (договір ЦПХ, строковий трудовий договір)	Основні завдання у проєкті (стисло окреслити функції)	Особистий підпис
1	Демченко Валерій, доктор хімічних наук, старший дослідник	Інститут електро-зварювання ім. Є.О. Патона НАН України	Не має	Провідний науковий співробітник	договір ЦПХ	Створити біополімерні гелеві матеріали полівініловий спирт – гіалуронова кислота, у різних співвідношеннях полімерних компонентів з різним вмістом наночастинок Ag або ZnO. Застосовуючи фізичні методи провести зшивання отриманих біополімерних нанокомпозитних гелевих матеріалів	

2	Юрженко Максим, доктор технічних наук, професор	Інститут електро-зварювання ім. Є.О. Патона НАН України	Не має	Завідувач відділу	договір ЦПХ	Методами Raman, FTIR, WAXS, TEM та SEM виконати структурно-морфологічні дослідження отриманих матеріалів	
3	Загородня Світлана, кандидат біологічних наук, старший дослідник	Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України	Не має	Завідувач відділу	договір ЦПХ	Дослідити антимікробну, цито- та генотоксичну дію матеріалів	
4	Рибальченко Наталія, кандидат біологічних наук, старший дослідник	Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України	Не має	Старший науковий співробітник	договір ЦПХ	Дослідити антимікробну, цито- та генотоксичну дію матеріалів	
5	Подпрятов Сергій, доктор медичних наук	Київська міська клінічна лікарня № 1	Не має	Науковий співробітник, лікар-хірург	договір ЦПХ	Вивчити ефективність отриманих матеріалів щодо стимуляції регенерації живих тканин та загоєння ран	
6	Демченко Олена, кандидат біологічних наук, старший дослідник	Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України	Не має	Старший науковий співробітник	договір ЦПХ	Дослідити антимікробну, цито- та генотоксичну дію матеріалів	
7	Ситник Ілля	Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського	Не має	Студент	договір ЦПХ	Дослідити механічні властивості зразків	

11. Стислий зміст проєкту *(актуальність, мета, основні завдання, ідеї, гіпотези тощо до 20 рядків)*

Щороку мільйони людей страждають від хронічних захворювань, травмування унаслідок нещасних випадків, термічних опіків різної природи, переломів чи дефектів кісток. Тому розробка полімерних гідрогелевих матеріалів з антимікробною активністю для регенерації живих тканин і загоєння ран є важливою і актуальною задачею. Метою проєкту є розроблення зшитих біополімерних нанокомпозитних гелевих матеріалів на основі полівінілового спирту та полімерів природнього походження гіалуронової, альгінової та γ-поліглутамінової кислоти і наночастинок Ag чи ZnO для стимулювання регенерації живих тканих і загоєння ран. Для реалізації мети проєкту необхідно виконати такі основні завдання: 1. Створити біополімерні гелеві матеріали полівініловий спирт – гіалуронова кислота, полівініловий спирт – альгінова кислота, полівініловий спирт – γ-поліглутамінова кислота у різних співвідношеннях полімерних компонентів з різним вмістом наночастинок Ag або ZnO. 2. Застосовуючи хімічні та фізичні методи провести зшивання отриманих біополімерних нанокомпозитних гелевих матеріалів. 3. Методами Raman, FTIR, WAXS,

ТЕМ та SEM виконати структурно-морфологічні дослідження отриманих матеріалів. 4. Методами ДСК, ТГА, ТМА дослідити теплофізичні та термомеханічні властивості вихідних і наповнених гелевих матеріалів. 5. Дослідити механічні властивості зразків. 6. Дослідити антимікробну, цито- та генотоксичну дію матеріалів. 7. Вивчити ефективність отриманих матеріалів щодо стимуляції регенерації живих тканин та загоєння ран.

12. Основні результати виконання попереднього етапу *(за наявності, до 20 рядків)*

13. Номер та назва звітного етапу *(за наявності)*

Етап № 1. Біополімерні гелеві матеріали на основі гіалуронової кислоти, полівінілового спирту і наночастинок Ag чи ZnO

14. Опис процесу реалізації проєкту *(опишіть хід виконання, які дослідження проводились, які методики використовувались, які гіпотези вдалось довести/спростувати тощо, до 50 рядків)*

В процесі виконання проєкту були сформовані серії полімерних гелевих матеріалів на основі полівінілового спирту та гіалуронової кислоти у різних співвідношеннях та різною концентрацією наночастинок Ag та ZnO для регенерації живих тканих та загоєння ран. Виготовляли зразки полівініловий спирт – гіалуронова кислота у співвідношеннях 10-1, 20-1, 30-1. Концентрація наночастинок у полімерній матриці ПВС-гіалуронова кислота становила 0,05, 0,1, 0,5 та 1,0 мас.%. Гіалуронова кислота у складі полімерної матриці виступала як відновник солей нітрату срібла та ацетату цинку так і стабілізатор. Зразки формували шляхом зшивання різними хімічними фізичними методами. Встановлено, що найбільш ефективний і технологічно простий метод зшивання – це заморожування-розморожування протягом різного часу за температури (-20 ^{o}C). Отримані серії зразків були охарактеризовані комплексом сучасних фізико-хімічних та фізико-механічних методів. Була вивчена сорбційна ємність зразків. Була досліджена структура та особливості морфології зразків. Досліджені метанічні та термомеханічні властивості гідрогелів. Були проведені дослідження створених полімерних гідрогелів щодо широкого спектру різних мікроорганізмів. Зокрема проведені дослідження створених полімерних гідрогелів щодо умовно-патогенних мікроорганізмів, включаючи грам позитивні (*S. aureus, S. epidermidis*) та грам негативні (*E. coli, P. aeruginosa*) бактерії. Вивчена цито- та генотоксичність полімерних гідрогелевих матеріалів. Встановлено, що показники цитотоксичності різко зростають при концентрації Ag_2O та ZnO більше 0,5 мас.%. При сумісному культивуванні ненаповнених та наповнених до 0,1 мас.% наночастинками Ag_2O та ZnO полімерних гідрогелів ПВС-ГК з лімфоцитами периферичної крові не спостерігали статистично достовірного $p \geq 0,05$ зростання частоти аберацій хромосом відповідно до значень контролю. При аналізі отриманих значень частоти аберацій хромосом при культивуванні лімфоцитів периферичної крові з досліджуваними зразками не відмічено мутагенного ефекту.

При дослідженні загоєння ран встановлено, що усі рани заживали через 18–30 днів після операції. Найкращий ефект при застосуванні виявив зразок ПВС-ГК (30-1) з 0,05 мас.%, 0,1 мас.% Ag_2O.

15. Результати виконання звітного етапу відповідно до Технічного завдання до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки / Календарного плану виконання наукового дослідження і розробки:

15.1. Заплановані завдання звітного етапу проєкту *(перерахуйте завдання звітного етапу, окреслені у Календарному плані виконання наукового дослідження і розробки, до 20 рядків)*

Завдання 1. Сформувати біополімерні гідрогелі на основі гіалуронової кислоти з полівініловим спиртом та наночастинками Ag чи ZnO шляхом відновлення іонів металів за допомогою сполук природного походження.

Завдання 2. Виконати зшивання біополімерних гелевих матеріалів із використанням способу заморожування-розморожування з дотриманням принципів зеленої хімії.

Завдання 3. Виконати випробування гелевих матеріалів щодо набухання у водних розчинах, отриманих різними способами.

Завдання 4. Провести дослідження біополімерних гелевих систем за допомогою методів ширококутової рентгенографії та електронної мікроскопії.

Завдання 5. Виконати дослідження термомеханічних та механічних властивостей матеріалів.

Завдання 6. Провести дослідження цитотоксичності та генотоксичності за рівнем пошкодження ДНК отриманих зразків in vitro, in vivo.

Завдання 7. Дослідити здатність отриманих матеріалів стимулювати регенерацію тканин на моделі культур клітин фібробластів.

Завдання 8. Визначити рівень загоєння ран на моделі лабораторних тварин (мурчаки) шляхом макроскопічної оцінки, гістологічних досліджень та визначення біохімічних маркерів.

Завдання 9. Провести презентацію результатів на науковій конференції та опублікувати результати досліджень.

15.2. Отримані результаті звітного етапу проєкту *(опишіть отримані результати виконавцями протягом звітного етапу, посилаючись на заплановані та досягнуті цілі, задачі та індикатори виконання, задані в Технічному завданні до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки / Календарному плані виконання наукового дослідження і розробки. Включіть посилання на публікації у наукових виданнях, інші показники з п. 18, що є підтвердженням досягнення індикаторів виконання етапу, до 70 рядків)*

Проведенні дослідження були виконані згідно Календарного плану та Технічного завдання проєкту [публікації 1,3 та 1,5 п.18]. В процесі виконання проєкту були розроблені полімерні гелеві матеріали на основі полівінілового спирту (ПВС) та гіалуронової кислоти (ГК) у різних масових співвідношеннях, які містили різну концентрацією наночастинок Ag_2O та ZnO (мас.%): 0,05, 0,1, 0,5 та 1,0 мас.%. Виготовлення зразків полівініловий спирт –

гіалуронова кислота проводили у різних співвідношеннях 10-1, 20-1, 30-1 (мас.%). Відновлення солей металів виконували за допомогою природних сполук. Було виявлено, що гіалуронова кислота у складі полімерної матриці з ПВС виконувала роль відновника солей нітрату срібла та ацетату цинку і стабілізатора утворених наночастинок Ag_2O та ZnO. Зразки формували шляхом зшивання різними хімічними і фізичними методами. Встановлено, що найбільш ефективний і технологічно простий метод зшивання – це заморожування-розморожування протягом різного часу за температури (-20 ^oC). Отримані серії зразків були охарактеризовані за допомогою комплексу сучасних фізико-хімічних та фізико-механічних методів. Була досліджена сорбційна ємність полімерних гідрогелевих матеріалів. Встановлено, що зразки з меншим часом заморожування характеризуються вищою сорбційною ємністю. Досліджена структура та особливості морфології гідрогелевих матеріалів. Методом ширококутової рентгенографії було встановлено, що досліджувані зразки характеризуються напівкристалічною структурою та підтверджено утворення частинок Ag_2O та ZnO в полімерних матрицях ПВС-ГК. Методом Раманівської спектроскопії було ідентифіковано та підтверджено утворення частинок Ag_2O та ZnO в полімерних гідрогелевих матеріаліах. Методом трансмісійної електронної мікроскопії було встановлено, що в полімерних гідрогелях формуються наночастинки оксиду срібла та цинку ультрадисперсного розміру. Були досліджені термомеханічні та механічні властивості гідрогелевих матеріалів. Встановлено, що зразки з більшим часом заморожування характеризуються меншими значеннями відносної деформації та більшими значеннями розривної міцності.

Були проведені дослідження створених полімерних гідрогелів щодо умовно-патогенних мікроорганізмів, включаючи грам позитивні (*S. aureus, S. epidermidis*) та грам негативні (*E. coli, P. aeruginosa*) бактерії.

Біополімерні гелеві матеріали з наночастинками Ag_2O і ZnO проявляють антимікробну активність, яка залежить від типу мікроорганізму. ПВС-ZnO-ГК ефективно пригнічує грампозитивні бактерії (*S. aureus* і *S. epidermidis*), грамнегативні *E. coli*, але не демонструє активності проти *P. aeruginosa*. ПВС-Ag_2O-ГК демонструє ширший спектр дії, включаючи активність як проти грампозитивних (*S. aureus, S. epidermidis*) так і проти грамнегативних бактерій (*E. coli, P. aeruginosa*). Ефективність антимікробної дії гелевих матеріалів прямопропорційно залежить від концентрації наночастинок Ag_2O та ZnO в полімерній матриці. Концентрації наночастинок $\geq$0,5 мас.% забезпечують суттєві антимікробні ефекти. Найвищі концентрації частинок (1,0 мас.% Ag_2O і 1,0 мас.% ZnO) забезпечують максимальні значення зон інгібування росту тестованих груп мікроорганізмів. Комбінація ПВС і ГК з наночастками Ag_2O та ZnO сприяє ефективній стабілізації наночастинок ультрадисперсного розміру та максимальному бактерицидному ефекту. Для порівняння також досліджували антимікробну активність гідрогелів, які містили солі нітрату срібла ($AgNO_3$) та ацетату цинку

($Zn(OOCCH_3)_2$) Такі матеріали з $AgNO_3$ забезпечили ширший спектр антимікробної дії, впливаючи як на грампозитивні, так і на грамнегативні бактерії, тоді як $Zn(OOCCH_3)_2$був ефективним лише проти грампозитивних (*S. aureus*, *S. epidermidis*). Зразки з солями металів, які були заморожені протягом більшого часу, показали дещо вищу активність.

Отримані результати тестування біосумісності отриманих зразків щодо цитотоксичності на культурах епітеліальних клітин MDBK (клітини нирки бика) in vitro (МТТ-тест, кристалічний фіолетовий). Встановлено, що полівініловий спирт та високомолекулярна гіалуронова кислота, з яких отримували гідрогелеві матеріали не мають токсичності на культури клітин, на дані параметри не впливає також спосіб одержання та масове співвідношення ПВС – ГК, оскільки життєздатність клітин зменшувалися максимум на 12 %.

Встановлено, що показники цитотоксичності різко зростають при концентрації Ag_2O та ZnO більше 0,5 мас.%.

Були проведені дослідження мутагенних та генотоксичних властивостей біополімерних гідрогелевих матеріалів з наночастинками Ag_2O та ZnO. При сумісному культивуванні ненаповнених та наповнених до 0,1 мас.% наночастинками Ag_2O та ZnO полімерних гідрогелів ПВС-ГК з лімфоцитами периферичної крові не спостерігали статистично достовірного $p \geq 0,05$ зростання частоти аберацій хромосом відповідно до значень контролю. При аналізі отриманих значень частоти аберацій хромосом при культивуванні лімфоцитів периферичної крові з досліджуваними зразками не відмічено мутагенного ефекту.

Для визначення генотоксичності полімерних зразків використовували метод кометного електрофорезу. При цьому на початку за допомогою класичного методу Comet assay було визначено значення фонових індивідуальних показників пошкодження ДНК окремих клітин в умовно здорового волонтера, що слугувало контролем. Проведені дослідження показали, що сформовані гідрогелеві матеріали з невеликим вмістом наночастинок (до 0,1 мас.%) не проявляють генотоксичного ефекту.

При дослідженні загоєння ран встановлено, що усі рани заживали через 18–30 днів після операції. Найкращий ефект при застосуванні виявив зразок ПВС-ГК (30-1) з 0,05 мас.%, 0,1 мас.% Ag_2O.

В результаті проведених досліджень були сформовані оптимальні за складом, сорбційною ємністю та механічними властивостями полімерні гідгогелеві матеріали з ефективною антимікробною дією, які не проявляють цито- та генотоксичного ефекту і сприяють регенерації живих тканих та загоєнню ран.

15.3. Відхилення від Календарного плану виконання наукового дослідження і розробки (за наявності) *(вкажіть та детально обґрунтуйте можливі відхилення від Технічного завдання до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки / Календарного плану виконання наукового дослідження і розробки, до 30 рядків)*

Не має.

16. Наукова цінність і актуальність отриманих результатів *(науково-технічної продукції), їх порівняння з українськими та/або кращими закордонними аналогами, до 30 рядків)*

Для формування полімерних гідрогелевих нанокомпозитних матеріалів з ефективною антимікробною і регенеративною дією для стабілізації наночастинок Ag та ZnO якомога меншого розміру у поєднанні з полівініловим спиртом була використана гіалуронова кислота, яка містить високу концентрацію іоногенних груп і гідроксильних функціональних груп. Поєднання полівінілового спирту із гіалуроновою кислотою дозволило отримати біополімерні матеріали із покращеними механічними властивостями. Необхідно відмітити, що полісахариди та поліпептидні біополімери є особливо перспективними для створення гідрогелів, але вони мають погані механічні властивості. Зокрема, гіалуронова кислота покращує захисні властивості та регенерацію живих тканин, зменшує вплив навколишнього середовища та знімає їх стрес, сприяє виробленню натурального зволожуючого фактора, покращує їх еластичність та мікрорельєф, а також сприяє усуненню та профілактиці зморшок, сприяє заспокоєнню подразненої та загоєнню пошкоджених живих тканин. Сьогодні в Україні розроблена технологія формування полімерних гідрогелів на основі полівінілового спирту і наночастинок срібла. Нами пропонуються полімерні кріогелі на основі полівінілого спирту і полісахаридів або поліпептидних біополімерів з наночастинками срібла або оксиду цинку.

17. Практична цінність результатів для потреб оборони, безпеки, економіки та/або суспільства України *(у разі наявності, до 30 рядків)*

На даному етапі були розроблені полімерні гідрогелі на основі полівінілового спирту, гіалуронової кислоти і наночастинок Ag_2O чи ZnO. Такі матеріали характеризуються високою сорбційною ємністю, антимікробною активністю, є нетоксичними і можуть використовуватись для регенерації живих тканин і загоєння ран. Отримані гідрогелеві матеріали є перспективними для лікування ран різного походження. Особливо це є актуальним в умовах війни для Військовослужбовців у польових умовах та для населення, яке перебуває на прифронтових територіях.

18. Основні кількісні індикатори виконання звітного етапу *(у таблиці мають бути відображені індикатори, які було заплановано в Технічному завданні до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки із зазначенням відповідного фактичного кількісного виконання цих індикаторів. Якщо у Технічному завданні до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки кількісні показники не планувались, то у таблиці відображаються лише показники у разі їх наявності / виконання)*

№ з/п	Індикатори виконання	Заплановано (відповідно до КП), кількість	Фактично отримано (відповідно до КП), кількість
1.	**Публікація результатів:**		

1.1.	Статті у журналах, що індексуються наукометричними базами даних:		
	- Scopus та/або Web of Science Core Collection, всього, од.	–	–
	з них із квартилем Q1 і Q2 на момент опублікування, од.	–	–
	з них із квартилем Q3 і Q4 на момент опублікування, од.	–	–
1.2.	Статті у наукових журналах (без квартилю), збірниках наукових праць, матеріалах конференцій тощо, що індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection (крім тих, що увійшли до п.1.1) , од.	–	–
1.3.	Статті у фахових виданнях України категорії «Б» , од.	1	1
1.4.	Статті у періодичних виданнях інших країн, що мають ISSN, од.	–	–
1.5.	Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України та не індексуються наукометричними базами даних Scopus або Web of Science Core Collection, од.	1	1
1.6.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) у закордонних видавництвах іноземними мовами, од.	–	–
1.7.	Монографії та розділи монографій, опубліковані (або підготовлені і подані до друку) в українських видавництвах, од.	–	–
1.8	Словники, довідники, енциклопедії, видані українськими та/або закордонними видавництвами , од.	–	–
1.9	Інші публікації, які не описані у пп. 1.1-1.8, од.	–	–
2.	**Презентація та дисемінація результатів:**		
2.1.	Міжнародні науково-комунікативні заходи, конференції, од.	1	1
2.2.	Всеукраїнські та регіональні науково-технічні/промислові виставкові заходи, од.	–	–
2.3.	Представлення розробки/бізнес-плану/результатів проєкту на:		

	інноваційних фестивалях, од.	–	–
	конкурсах стартапів, од.	–	–
	акселераційних програмах, од.	–	–
	хакатонах, од.	–	–
2.4.	Науково-популярні публікації з метою поширення інформації про результати проєкту для загальної (широкої) аудиторії, од.	–	–
2.5.	Представлення інформації про результати проєкту на науково-популяризаційних заходах (Дні науки, Наукові пікніки тощо) , од.	–	–
2.6.	Інші заходи, які не описані у пп. 2.1-2.5, од.	–	–
3.	**Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності (ОПІВ)**		
3.1.	Отримано патентів України на винахід, од.	–	–
3.2.	Отримано свідоцтв України на промисловий зразок , од.	–	–
3.3.	Отримано патентів України на корисну модель, од.	–	–
3.4	Отримано охоронний документ на ОПІВ інших країн, од.	–	–
3.5	Інші ОПІВ, які не описані у пп. 3.1-3.4, од.	–	–
3.6	Подано заявок на отримання охоронного документу на ОПІВ України та /або інших країн, од.	–	–
4.	**Впровадження та використання наукових або науково-практичних результатів:**		
4.1.	Підписання (укладання) договорів (угод) на впровадження (використання) результатів проєкту (окрім індивідуальних), серед них:	–	–
4.1.1	Господарських договорів/контрактів, од./тис.грн.	–	–
4.1.2	Ліцензійних договорів/договорів на ноу-хау, од./тис.грн.	–	–
4.1.3	Грантових угод, од./тис.грн.	–	–
4.1.4	Інші договори (угоди), які не описані у пп. 4.1.1-4.1.3, од./тис. грн.	–	–

4.4	Документально підтверджено використання результатів у практиці органів державної/місцевої влади, суспільних практиках тощо, од.	–	–
4.5	Проведено маркетингові дослідження, перемовини з потенційними замовниками із підписанням протоколу (меморандуму, угоди) про наміри комерційного впровадження результатів, од.	–	–
4.6	Подано заявок на державні, міжнародні наукові гранти (окрім індивідуальних) , од.	–	–
5.	**Створено чи істотно удосконалено/покращено існуючі:**		
5.1.	Пристрої (макет, експериментальний/дослідний зразок) , од.	–	–
5.2.	Матеріали, процеси, технології, технологічні регламенти, цифрові продукти та електронні сервіси, од.	–	–
5.3.	ТУ, ДСТУ, будівельні норми, зареєстровані проєкти законодавчих актів, од.	–	–
5.4.	Наукові (науково-технічні) послуги, од.	–	–
5.5	Іншу продукцію, яка не описана у пп. 5.1-5.4, од.	–	–

19. Відхилення від запланованих індикаторів, зазначених у п. 18 *(у разі наявності зазначити і обґрунтувати причини таких відхилень та їх вплив на подальше виконання проєкту, до 20 рядків)*

Не має.

20. Вихідні дані щодо показників виконання відповідно до п. 18 *(зазначити дані про публікації, конференції, отримання ОПІВ, впровадження, створення НТП, залучення молодих вчених тощо з додаванням Web-посилання (за наявності) на ресурси, де вони розміщенні)*

1. Демченко В.Л., Загородня С.Д., Рибальченко Н.П., Артюх Л.О., Заремба П.Ю., Юрженко М.В., Ситник І.О., Овсянкіна В.О., Неймаш В.Б. Полімерні гелеві матеріали на основі полівінілового спирту і наночастинок срібла. Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2024. №.3. С. 83–92. https://doi.org/10.20535/2617-9741.3.2024.312424

2. Demchenko V.L., Rybalchenko N.P., Iurzhenko M.V., Sytnyk I.O., Neymash V.B. Hydrogel materials based on polyvinyl alcohol and silver nanoparticles, cross-linked by electron beam irradiation. *Welding and related technologies*: program and Abstracts of Papers (Yaremche, 7–10 October 2024). Kyiv, International Association “Welding”, 2024. P. 14.

До звіту додаються електронні копії наукових публікацій, охоронних документів, інша наукова продукція із вказанням DOI *(окрім матеріалів, які містять інформацію з обмеженим доступом, Додаток 1 до Проміжного звіту)***.**

- у випадку необхідності надання друкованої версії звіту, до нього додаються друковані додатки *(окрім великих (більше 50 сторінок) за обсягом - монографії, підручники, словники тощо та інші матеріали).*

2. **Рішення вченої (наукової, науково-технічної, технічної) ради або іншого керівного (дорадчого) органу (за відсутності зазначеної ради) організації/установи грантоотримувача щодо результатів розгляду Проміжного звіту** *(стисло зазначити текст висновку ради про відповідність/невідповідність виконаних за проєктом робіт Технічному завданню до проміжного етапу проєкту з виконання наукового дослідження і розробки)*

В результаті заслуховування та обговорення звіту Демченка В.Л. за Етапом № 1 у 2024 р. за договором від 01.08.2024 № 133/0009 проєкту з реєстраційним номером № 2023.05/0009 «РОЗРОБКА БІОПОЛІМЕРНИХ НАНОКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СТИМУЛЯЦІЇ РЕГЕНЕРАЦІЇ ЖИВИХ ТКАНИН І ЗАГОЄННЯ РАН» грантової підтримки Національного фонду досліджень України у межах конкурсу «Дослідницькі інфраструктури для проведення передових наукових досліджень» Вчена Рада ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України вирішила вважати роботи успішно виконаними на високому науково-технічному рівні у відповідності до календарного плану на 2024 рік та в повному обсязі;

- виконані за проєктом роботи відповідають його Технічному завдання та Календарному плану;
- рекомендувати розпочати у 2025 році роботи за Етапом № 2 наукового проєкту „Розробка біополімерних нанокомпозитних матеріалів для стимуляції регенерації живих тканин і загоєння ран“.

Додаток 2 – копія витягу з протоколу вченої (наукової, науково-технічної, технічної) ради або іншого керівного (дорадчого) органу (за відсутності зазначеної ради) організації/установи грантоотримувача.

3. **Анотація основних результатів звітного етапу проєкту** *(готується українською та англійською мовами, до 30 рядків кожною мовою, викладається науково-популярним стилем)*

Були сформовані полімерні гідрогелі на основі полімеру полівінілового спирту (виконував функцію зшивання полімеру), гіалуронової кислоти (виконувала функцію регенерації живих тканин) і наночастинок оксиду срібла та оксиду цинку, які виконували бактерицидну функцію. Зшивання зразків з подальшим утворенням гідрогелів виконували шляхом заморожування. Бактерицидні наночастинки Ag_2O та ZnO утворювалися в процесі формування гідрогелів при відновленні солей срібла та цинку за допомогою гіалуронової кислоти. Підтвердження утворення наночастинок Ag_2O та ZnO виконували за допомогою рентгеноструктурного аналізу та Раманівської спектроскопії. Було встановлено, що зразки з меншим часом заморожування мають більшу сорбційну ємність, що важливо при сорбції ранового екструдату. Встановлено, що механічні властивості гідрогелевих матеріалів зростають зі збільшенням часу заморожування зразків, при цьому їх відносна деформація зменшується. Було встановлено, що створені полімерні гідрогелі

мають антимікробну дію щодо умовно-патогенних мікроорганізмів, включаючи грам позитивні (*S. aureus, S. epidermidis*) та грам негативні (*E. coli, P. aeruginosa*) бактерії. Дослідження цито- та генотоксичності досліджуваних матеріалів показали, що вони не токсичні до концентрації 0,1 мас.% наночастинок у зразках. При дослідженні загоєння ран встановлено, що усі рани заживали через 18–30 днів після операції. Найкращий ефект при застосуванні виявив зразок ПВС-ГК (30-1 мас.%) з 0,05 мас.%, 0,1 мас.% Ag_2O. В результаті проведених досліджень були сформовані оптимальні за складом, сорбційною ємністю та механічними властивостями полімерні гідгогелеві матеріали з ефективною антимікробною дією, які не проявляють цито- та генотоксичного ефекту і сприяють регенерації живих тканих та загоєнню ран.

Polymer hydrogels were formed based on polyvinyl alcohol polymer (which performed the function of crosslinking the polymer), hyaluronic acid (which performed the function of regenerating living tissues) and silver oxide and zinc oxide nanoparticles, which performed the bactericidal function. Crosslinking of samples with subsequent formation of hydrogels was performed by freezing. Bactericidal Ag_2O and ZnO nanoparticles were formed during the formation of hydrogels during the reduction of silver and zinc salts using hyaluronic acid. Confirmation of the formation of Ag_2O and ZnO nanoparticles was performed using X-ray structural analysis and Raman spectroscopy. It was found that samples with a shorter freezing time have a greater sorption capacity, which is important for the sorption of wound extrudate. It was found that the mechanical properties of hydrogel materials increase with increasing freezing time of samples, while their relative deformation decreases. It was found that the created polymer hydrogels have antimicrobial activity against opportunistic microorganisms, including gram-positive (S. aureus, S. epidermidis) and gram-negative (E. coli, P. aeruginosa) bacteria. Cyto- and genotoxicity studies of the studied materials showed that they are not toxic up to a concentration of 0.1 wt.% nanoparticles in the samples. In the study of wound healing, it was found that all wounds healed 18–30 days after surgery. The best effect was shown by the PVA-GA sample (30-1 wt.%) with 0.05 wt.%, 0.1 wt.% Ag_2O. As a result of the studies, polymer hydrogel materials with effective antimicrobial activity, which do not exhibit cyto- and genotoxic effects and contribute to the regeneration of living tissues and wound healing, were formed.

Додаток 3

4. **За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з аналогами, що існують, до 10 рядків**

Нині в Україні існують полімерні гідрогелі на основі полівінілового спирту і наночастинок срібла. На даному етапі проєкту були розроблені полімерні кріогелі на

основі полівінілового спирту, гіалуронової кислоти і наночастинок оксиду цинку і срібла. Отримані зразки мають високу сорбційну ємність, антимікробну і регенеруючу активність та не є токсичними. Отримані матеріали можуть використовуватись для лікування ран різного походження.

5. **Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці**

   Результати цієї роботи можуть бути основою ряду інноваційних проеєтів щодо заміни дорогих синтетичних нанокомпозитних матеріалів на ефективні біосумісні та екологічно безпечні полімерні матеріали з антимікробною дією. Буде проведено інформування спеціалізованих підприємств про результати досліджень із пропозиціями щодо використання зшитих нанокомпозитних гідрогелевих біоматеріалів із наночастинками для виготовлення гідрогелевих пов'язок для лікування ран різного походження. Для ще більш ефективного розповсюдження інформації буде проведено встановлення партнерств з медичними закладами для перенесення розроблених технологій у практику.

Примітка: Проміжний звіт не містить відомостей, заборонених до відкритого опублікування.

Науковий керівник Проєкту
Провідний науковий співробітник відділу зварювання
пластмас ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
(посада)

Валерій ДЕМЧЕНКО
(Власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)