

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ ректора ДВНЗ «ПДТУ»
від 30 серпня 2019 № 147-05
Форма № ПДТУ-3.04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
Факультет інформаційних технологій
Кафедра біомедичної інженерії



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Олійник І. М.

«БІОМАТЕРІАЛИ»

Методичні вказівки до практичних занять
з дисципліни «Біоматеріали»
для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 163 – Біомедична інженерія,
освітньої програми «Біомедична інженерія»

Розроблено в рамках проекту «Erasmus + (CBHE) BioArt: «Інноваційна
мультидисциплінарна навчальна програма зі штучних імплантів для
біоінженерії для рівнів бакалавр та магістр»

Developed in the frame of project «Erasmus+ (CBHE) BioArt: Innovative
Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc/
MSc Degrees»

(586114-EPP- 1-2017- 1-ES- EPPKA2-CBHE- JP)

*This project has been funded with support from the European Commission.
This publication / communication reflects the views only of the author, and the
Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the
information contained there in.*

Маріуполь
2019

УДК 669.14 (083)

Біоматеріали: методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Біоматеріали» для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 163 – Біомедична інженерія, освітньої програми «Біомедична інженерія» / уклад. І. М. Олійник. Маріуполь : ДВНЗ «ПДТУ», 2019. - 19 с.

Методичні вказівки складені відповідно до програми курсу «Біоматеріали». Методичні вказівки до практичних занять містять тематику, завдання та методичні вказівки до практичних занять в обсязі курсу «Біоматеріали», що сприяє засвоєнню та закріпленню пройденого матеріалу і перевірці знань.

Складач: І. М. Олійник, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: В.Г. Єфременко, доктор тех. наук, професор

Затверджено
на засіданні кафедри «Біомедична інженерія»,
протокол № 7 від 12 грудня 2019 р.

Затверджено
методичною комісією
факультету інформаційних технологій,
протокол № 5 від «24» грудня 2019 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Практичне заняття № 1. ЗНАЧЕННЯ ТА ЗАДАЧІ КУРСУ «БІОМАТЕРІАЛИ»	6
1.1 Мета роботи	6
1.2 Порядок проведення заняття	6
1.3 Основні теоретичні положення	6
Практичне заняття № 2. КЛАСИФІКАЦІЯ БІОМАТЕРІАЛІВ	8
2.1 Мета роботи	8
2.2 Порядок проведення заняття	8
2.3 Основні теоретичні положення	8
Практичне заняття № 3. БІОПОЛІМЕРИ	10
3.1 Мета роботи	10
3.2 Порядок проведення заняття	10
3.3 Основні теоретичні положення	10
Практичне заняття № 4. БІОКЕРАМІКА. БІОАКТИВНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ФОСФАТІВ КАЛЬЦІЮ	12
4.1 Мета роботи	12
4.2 Порядок проведення заняття	13
4.3 Основні теоретичні положення	13
Практичне заняття № 5. МЕТАЛЕВІ БІОМАТЕРІАЛИ	15
5.1 Мета роботи	15
5.2 Порядок проведення заняття	15
5.3 Основні теоретичні положення	16
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	18

ВСТУП

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Біоматеріали» розроблена в рамках проекту «Erasmus + (CBHE) BioArt: «Інноваційна мультидисциплінарна навчальна програма зі штучних імплантів для біоінженерії для рівнів бакалавр та магістр» та складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів «Біомедична інженерія» за спеціальністю 163 – Біомедична інженерія.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є біомедичні матеріали, які застосовуються в різних галузях медицини, закономірності залежності їх властивостей від хімічного складу, структури, способів обробки та умов експлуатації.

Мета та завдання вивчення навчальної дисципліни «Біоматеріали» полягають у тому, щоб дати знання про основні види біоматеріалів, в ознайомленні з властивостями різних біоматеріалів (сталей, кольорових металів та їх сплавів, неметалевих матеріалів), і галузей використання біоматеріалів в медицині.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати: загальну характеристику різних біоматеріалів, їх застосування у біомедицині; вміти: вибрати відповідний біоматеріал для обраних біомедичних застосувань, демонструвати інноваційні ідеї в галузі біоматеріалів для біомедицини та їх застосування, аналізувати та порівнювати фізико-механічні властивості різних типів біоматеріалів, пояснити основні переваги та недоліки біоматеріалів у біомедицині.

Практичні заняття з курсу «Біоматеріали» призначені для поглибленого вивчення теоретичних питань, формування знань і умінь, необхідних для вирішення наукових і інженерно-технічних завдань.

Перелік тем практичних занять складено у відповідності з робочою програмою за темами лекційного матеріалу.

Під час проведення практичних занять здійснюється поточне оцінювання знань студентів, яке має на меті перевірку рівня підготовленості студента до виконання конкретної роботи. Об'єктами поточного контролю є:

- активність та результативність роботи студента протягом семестру над вивченням програмного матеріалу дисципліни;

- виконання завдань на практичних заняттях;

- виконання завдань поточного контролю.

При оцінюванні виконання практичних завдань увага приділяється їх якості й самостійності.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 150 годин, 5 кредитів ЄКТС, з них практичні заняття -12 годин. Об'єм практичних робіт містить 5 тем.

Практичне заняття № 1. ЗНАЧЕННЯ ТА ЗАДАЧІ КУРСУ «БІОМАТЕРІАЛИ»

1.1 Мета роботи

Вивчення цього розділу слід почати з опанування такого поняття як біоматеріали. Студентам слід приділити увагу основним вимогам до біоматеріалів, галузям застосування біоматеріалів.

Далі необхідно розглянути поняття біосумісності. Студенти повинні знати що таке трансплантати та імплантати, їх переваги та недоліки.

1.2 Порядок проведення заняття

- опитування за темою заняття;
- пояснення викладачем питань, які недостатньо зрозумілі студентам.

1.3 Основні теоретичні положення

Біоматеріали, природні та синтетичні матеріали, призначені для створення виробів, пристроїв і препаратів, що застосовуються в медицині, біотехнології, сільському господарстві, косметології та ін., і які використовуються для забезпечення і оптимізації життєдіяльності людини, тварин, рослин, мікроорганізмів. Біоматеріали функціонують в безпосередньому контакті з живими тканинами і клітинними об'єктами.

Області застосування біоматеріалів - виробництво медичних імплантатів, в тому числі призначених для

введення в серцево-судинну (ендопротези судин, клапанів і цілого серця і ін.) і кісткову (ендопротези суглобів та фрагментів кісток, кріпильні деталі, клеї і цементи) системи, офтальмологічних імплантатів, шовних матеріалів та ін.; препаратів, що володіють різними типами біологічної активності; матеріалів для розділення і очищення біологічних рідких тканин і середовищ; полімерних систем для культивування і вирощування культур клітин і тканин.

Біосумісність - здатність виконувати певну функцію протягом необхідного часу без шкоди для оточуючих тканин і організму в цілому; такі матеріали називають біологічно сумісними або **біосумісними**.

Гемосумісність - здатність не надавати негативні дії на кров.

Біоматеріали можна умовно розділити на дві групи: трансплантати і імплантати.

Трансплантати - це органи і тканини, пересажені від самого пацієнта або його близьких родичів (наприклад, нирка, ділянку кістки, шкіра).

Імплантати є «неживі» матеріали, що не мають безпосереднього відношення до організму: полімери, керамічні блоки, скелети коралів тощо.

Основні властивості біосумісних матеріалів:

- біоматеріали не повинні викликати місцевої запальної реакції;
- біоматеріали не повинні надавати токсичного і алергічного дії на організм;
- біоматеріали не повинні володіти канцерогенну дію;
- біоматеріали не повинні провокувати розвиток інфекції;
- біоматеріали повинні зберігати функціональні властивості протягом передбаченого терміну експлуатації.

Процес розкладання нежиттєздатних матеріалів при контакті з живими тканинами, клітинами і біологічними (тілесними) рідинами отримав назву **біодеградація**.

Питання по темі практичного заняття:

1. Що таке біоматеріали?
2. Що таке біосумісність?
3. Назвіть основні галузі використання біоматеріалів.
4. Які вимоги пред'являються до біоматеріалів?
5. Що таке імплантати?
6. Що таке трансплантати?
7. Що таке біодеградація?
8. Що таке гемосумісність?
9. Класифікація біоматеріалів.

Література: [1, 2, 13, 14].

Практичне заняття № 2. КЛАСИФІКАЦІЯ БІОМАТЕРІАЛІВ

2.1 Мета роботи

Студентам слід приділити увагу класифікації біоматеріалів за походженням (аутоматеріали, алломатеріали, ксеноматеріали, гетероматеріали), а також класифікації біоматеріалів за використанням. Далі необхідно розглянути структуру біоматеріалів.

2.2 Порядок проведення заняття

- опитування за темою заняття;
- пояснення викладачем питань, які недостатньо зрозумілі студентам.

2.3 Основні теоретичні положення

Класифікація біоматеріалів *за походженням і джерелом отримання*:

- аутоматеріали (з власних тканин організму);
- алломатеріали (з тканин організму одного біологічного виду);
- ксеноматеріали (з тканин організму іншого біологічного виду);
- гетероматеріали (чужорідні матеріали).

2. Класифікація біоматеріалів *за використанням*:

- без порушення цілісності тканин - катетери, стенти;
- з порушенням цілісності тканин - велика частина імплантантів, хірургічний шовний матеріал.

3. Класифікація біоматеріалів *за структурою*:

- терді;
- рідкі (ін'єкційні).

Класифікація біоматеріалів, що імплантуються в кісткову тканину: біотолерантні, біоінертні і біоактивні.

Біотолерантні матеріали включаються в кістку через механізми дистантного остеогенеза. При цьому вони відокремлюються від кісткової тканини проростають масивним фіброзним шаром.

Біоінертні матеріали практично не взаємодіють з оточуючими тканинами, не викликають утворення вираженого фіброзного шару і стимуляцію остеогенезу. При цьому кістка може формуватися в безпосередній близькості від поверхні імплантату.

Під **біоактивними матеріалами** мають на увазі біоматеріали, призначені для зв'язування їх з біологічними системами з метою підвищення ефективності лікування, утворення або заміщення будь-якої тканини, органу при виконання тих чи інших функцій організму.

Питання по темі практичного заняття:

1. Що таке аутоматеріали?

2. Що таке алломатеріали?
3. Що таке ксеноматеріали?
4. Що таке гетероматеріали?
5. Як класифікуються матеріали за використанням?

Література: [1, 2, 13, 14].

Практичне заняття № 3. БІОПОЛІМЕРИ

3.1 Мета роботи

Вивчення цього розділу слід почати з опанування такого поняття як полімери. Студентам слід приділити увагу полімерам, які сумісні з живим організмом. Далі необхідно розглянути синтетичні і природні матеріали, біоінертні (що не руйнуються в біологічних середовищах) і полімери, що руйнуються (біорезорбовувальні); висококрісталічні термопласти і гумоподібні еластомери, які використовуються в медицині.

3.2 Порядок проведення заняття

- опитування за темою заняття;
- пояснення викладачем питань, які недостатньо зрозумілі студентам.

3.3 Основні теоретичні положення

Полімери - високомолекулярні сполуки (ВМС), речовини з високою молекулярною масою (від декількох тисяч до декількох мільйонів), в яких атоми, з'єднані хімічними зв'язками, утворюють лінійні або розгалужені ланцюги, а також просторові тривимірні структури.

У сучасній медицині знайшли широке застосування полімери в реконструктивно-відновлювальній хірургії,

травматології, ортопедії, урології, стоматології, офтальмології ін.

Поліетилен (PE, PE) - хімічна структура $[-CH_2-CH_2]_n$, випускається в трьох модифікаціях: низької щільності, високої щільності та ультрависокої молекулярної ваги. Поліетилен є гідрофобним і біоінертним матеріалом; має низьку межу плинності. Поліетилен низької щільності (ПЕВТ, LDPE) - володіє високою біологічною інертністю, молекулярною масою. Застосовується для ендопротезування в щелепно-лицевій хірургії. Поліетилен високої щільності (ПЕНТ, HDPE) має більш високий ступінь кристалічності; застосовуємо для створення окремих типів імплантатів.

Поліаміди - (нейлони) - це полімери, що містять зв'язок -CONH-. Основні типи, що застосовуються в медицині (марки «Нейлон 6», «Нейлон 6,6» і «Нейлон 6,12»). Поліаміди (полі-ε-капроамід і полігексаметіленадіпамід) придатні для виготовлення волокон, плівок, сіток медичного призначення. Нижчі аліфатичні поліаміди здатні до біодеструкції.

Поліметилметакрилат (ПММА) - це біоінертний, твердий, жорсткий, склоподібний, крихкий полімер з температурою склування близько 100 °С; утворюється в результаті радикальної полімеризації мономера - метилового ефіру метакрилової кислоти. ПММА - один з найбільш термостійких полімерів: він починає розкладатися тільки при температурі понад 330 ° С; має високу міцність. Використовується в якості внутрішньоочних лінз і твердих контактних лінз.

Поліпропілен (ПП, PP) - висококристалічний гомополімер, крихкий при низьких температурах; погано проводить тепло, в тонких плівках практично прозорий; термопласт з температурою плавлення близько 180 °С. Характерні висока ударна в'язкість, стійкість до багаторазових вигинів, хороша зносостійкість, остання підвищується з ростом молекулярної маси. Застосовується в

хірургії як шовний матеріал, для виготовлення обплетення сідла штучних клапанів серця, і як сполучна для матеріалів, призначених для створення деталей кісткових ендопротезів, а також ендопротезування дрібних суглобів верхніх кінцівок.

Політетрафторетилен (ПЕТФ, РТФЕ) має хімічну структуру $[-CF_2-CF_2]_n$. Має широкі сфери застосування в якості мембранного матеріалу. У нього відносно слабкі механічні властивості з низькою межею плинності, що обмежує його використання.

Полісілоксани (силікони) є хімічно дуже стабільними і нереактивними. Мають низьке вологопоглинання, хороші характеристики електроізоляції. Полісілоксани призначені для довгострокового використання, коли необхідний еластомер і коли є потреба в біодовговічності і біосумісності. Вони використовуються в імплантатах молочної залози. Полісілоксанові клеї можуть застосовуватися для прикріплення матеріалів до шкіри металів, скла, тканини.

Поліуретани (ПУ) - полімери, що містять уретанову групу. Поліуретани є однією з основних груп полімерних матеріалів, використовуваних при виготовленні різних імплантатів, а також багатьох інших виробів.

Питання по темі практичного заняття:

1. Переваги застосування біополімерів в медицині.
2. Недоліки застосування біополімерів в медицині.
3. Застосування гумоподібних полімерів в медицині.
4. Що таке біорезорбювальні еластомери?
5. Які термопластичні полімери використовуються в біомедицині?

Література: [1, 3-5, 7, 13, 16].

Практичне заняття № 4.

БІОКЕРАМІКА. БІОАКТИВНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ФОСФАТІВ КАЛЬЦІУ

4.1 Мета роботи

Вивчення цього розділу слід почати з опанування такого поняття як кераміка. Студентам слід приділити увагу специфіці одержання, випробування властивостей біокераміки і керамічних композитів.

Далі необхідно розглянути проблеми та сучасні тренди біокерамічних матеріалів.

Також приділити увагу кальційфосфатним покриттям на металевих імплантатах, матеріалам реакційного зв'язування: їх переваги і недоліки в порівнянні з фосфатної біокерамікою, а також розглянути композити фосфат / (біо) полімер: сучасні тенденції розвитку, перспективи.

4.2 Порядок проведення заняття

- опитування за темою заняття;
- пояснення викладачем питань, які недостатньо зрозумілі студентам.

4.3 Основні теоретичні положення

Кераміка - вироби з неорганічних, неметалічних матеріалів і їх сумішей з мінеральними добавками, виготовлені під впливом високої температури з наступним охолодженням.

Недоліки сучасних кісткових імплантатів:

- неможливість самовідновлення;
- неможливість забезпечувати потік крові;

- нездатність змінювати структуру і властивості у відповідь на зовнішні умови, такі як механічне навантаження.

В даний час все більше застосування знаходять комбінації металу і кераміки, композиційні полімерно-керамічні матеріали, а також нові керамічні матеріали.

Використання ортофосфатів кальцію в якості біоматеріалів і біокераміки засноване на їх хімічній подібності з неорганічною складовою кісток і зубів.

Біокераміка з ортофосфатів кальцію випускаються в різних видах: гранули, блоки (щільні або пористі), цементи, покриття на металеві імплантати, композити з полімерами і т. д. Пориста поверхня біокераміки забезпечує більшу поверхню зіткнення між біоматеріалом і зростаючої кісткою, що призводить до утворення більшої кількості хімічних зв'язків.

При виробництві біокераміки, що володіє заданими властивостями, дуже важливими є стадії спікання і прожарювання. При термічній обробці ортофосфатів кальцію протікають наступні взаємопов'язані процеси:

видалення всієї вологи, карбонатів та інших легких сполук;

видалення всіх летючих сполук, що призводить до ущільнення кераміки і підвищенню її щільності;

зростання кристалів і зменшення питомої поверхні;

хімічне розкладання всіх кислих ортофосфатів і їх перетворення в інші фосфати.

Збільшення питомої поверхні і пористості біокераміки позитивно впливає на кінетику утворення кістки і покращує біактивність. З метою конструювання більш якісних імплантатів важливим є точний контроль загальної пористості, розміру пор, а також внутрішньої пористої будови біокераміки.

Біокераміка з ортофосфатів кальцію найчастіше складається з ГА, β -ТКФ або двофазного фосфату кальцію.

Найбільш загальними вимогами до ідеального кісткового імплантату є: розмір пор близько 100 мкм, швидкість біодеградації повинна відповідати швидкості утворення нової кістки (від кількох місяців до двох років), гідрофільність, а також необхідна механічна міцність.

У медицині широко застосовуються біокерамічні покриття з ортофосфатів кальцію, нанесені на поверхню металів, що імплантуються.

Питання по темі практичного заняття:

1. Які переваги застосування кераміки в біомедицині?
2. Які недоліки застосування кераміки в біомедицині?
3. Назвіть галузі застосування біокераміки.
4. Як класифікуються біокерамічні матеріали?
5. В якій галузі біомедицини використовується склокераміка?
6. З якою метою використовуються кальційфосфатні покриття?
7. Переваги застосування кальційфосфатних покриттів.
8. Які недоліки застосування кальційфосфатних покриттів?

Література: [1, 6, 7, 9, 13].

Практичне заняття № 5. МЕТАЛЕВІ БІОМАТЕРІАЛИ

5.1 Мета роботи

Вивчення цього розділу слід почати із загальної характеристики металевих біоматеріалів, їх хімічного і фазового складів та властивостей. Переваги та недоліки використання металевих біоматеріалів.

Далі необхідно розглянути використання титану і його сплавів, які широко використовуються в якості біоматеріалу. А також використання в біомедицині сплавів з ефектом пам'яті форми.

5.2 Порядок проведення заняття

- опитування за темою заняття;
- пояснення викладачем питань, які недостатньо зрозумілі студентам.

5.3 Основні теоретичні положення

Металеві матеріали - це поєднання металевих елементів (заліза, титану, золота, алюмінію), використовуються в силу високої механічної міцності в ортопедії, ортодонтії, у внутрішніх електричних пристроях і в штучних органах. Вибір металевих матеріалів або сплавів для медицини проводять, виходячи з таких характеристик: 1) біосумісність, 2) фізичні і механічні властивості, 3) старіння матеріалу.

Негативним для медицини властивістю багатьох металів є корозія. Метали схильні до корозії (за винятком благородних металів). Корозія імплантованого металевого виробу під впливом агресивних біологічних рідин може призвести до виходу його з ладу, а також накопиченню в організмі токсичних продуктів.

Найбільшого поширення набули нержавіючі сталі, титан і його сплави, сплави кобальту.

Нітінол володіє пам'яттю форми і отримав в даний час широке застосування для розробки різних пристроїв і імплантатів.

Сплави з ефектом пам'яті форми дозволили створювати імплантати з принципово новими функціональними властивостями, які не руйнуються при

багаторазовому механічному впливі, виявляють еластичні властивості і надають силовий опір протягом тривалого часу. Ці матеріали застосовують в різних областях медицини, таких як травматологія, загальна хірургія, стоматологія, урологія, судинна хірургія і т.д.

Благородні метали (золото і платина) застосовують в обмежених масштабах для виготовлення хімічно інертних протезів.

Питання по темі практичного заняття:

1. Які вимоги пред'являються до металевих біоматеріалів?
2. Які переваги застосування металевих біоматеріалів в біомедицині?
3. Які недоліки застосування металевих біоматеріалів в біомедицині?
4. Назвіть галузі застосування титану в біомедицині.

Література: [1 – 2, 11, 13].

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основні джерела

1. Вихров С.П. Биомедицинское материаловедение / С.П. Вихров, Т.А. Холомина, П.И. Бегун и др. - М. : Горячая линия - Телеком, 2006. – 383 с.
2. Бегун П.И. Биомеханика: Учебник для вузов. П.И. Бегун, Ю.А. Шукейло. - СПб. : Наука, 2000. – 463 с.
3. Штильман М.И. Полимеры медико-биологического назначения. / М.И. Штильман – М. : ИКЦ, Академкнига, 2006. – 400 с.
4. Characterization of Polymeric Biomaterials. - Elsevier Science, 2017. - 719 p.
5. M. C. Tanzi M. C. Characterization of polymeric biomaterials / Maria Cristina Tanzi, Silvia Farè . - First edition Publisher: Woodhead Publishing Language, 2017. – 500 p.

Додаткові джерела

6. Трезубов В.Н. Ортопедическая стоматология. Прикладное материаловедение: учебник для медицинских вузов / В.Н. Трезубова, М.З. Штейнгатт, Л.М. Мишнев. – СПб. : Наука, 1999. – 324 с.
7. Холомина Т.А. Медико-биологическое материаловедение: Учеб. пособие / Т.А. Холомина. Рязань : Рязан. гос. радиотехн. акад., 2000. - 64 с.

8. Карлов А.В. Системы внешней фиксации и регуляторные механизмы оптимальной биомеханики / А.В. Карлов, Шахов В.П.– Томск : Издательство «Ветер», 2001. – 480 с.
9. Баринов С.М. Биокерамика на основе фосфатов кальция / С.М. Баринов, В.С. Комлев. – М. : Наука, 2005. – 204 с.
10. Хлусов И.А. Основы биомеханики биосовместимых материалов и биологических тканей: Учебное пособие / И.А. Хлусов, В.Ф. Пичугин, М.А. Рябцева – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007 – 152 с.
11. Аронов А.М. Методические основы разработки и организации производства медицинских изделий. / А.М. Аронов, В.Ф. Пичугин, С.И. Твердохлебов – Томск : Издательство «Ветер», 2007 . – 334 с.
12. Park J.B. Biomaterials. An introduction (second edition) / J.B. Park, R.S. Lakes. Plenum Press, NY, 1992. - 394 p.
13. Севастьянов В. И. Биосовместимые материалы / В. И. Севастьянов, М. Т. Кирпичникова. - М.:«МИА», 2011. – 326 с.
14. Wound Healing Biomaterials - Volume 2: Functional Biomaterials. - Elsevier Science, 2016. - 197 p.
15. Science and Principles of Biodegradable and Bioresorbable Medical Polymers: Materials and Properties. - Elsevier Science, 2016. - 982 p.
16. Biomaterials, Medical Devices, and Combination Products: Biocompatibility Testing and Safety Assessment 1st Edition . - CRC Press, 2015 - 606 p.

Інформаційні ресурси

1. <http://scintific.narod.ru/literature.htm>. Библиотека научной и технической литературы.
2. <http://www.nbuv.gov.ua/portal/>. Научная периодика Украины. Журналы и сборники научных трудов.

3. <http://mo.pstu.edu/> (методичне забезпечення ДВНЗ «ПДТУ»).