

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ
Кафедра комп'ютерних інформаційних технологій

РОБОЧА ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

«Розрахунки та автоматизоване проектування оптимальних конструкцій»

рівень вищої освіти	другий (магістерський)
спеціальність	122 Комп'ютерні науки
назва освітньої програми	Комп'ютерні науки в техніці, бізнесі та медицині
статус	вільного вибору

Краматорськ
ДДМА
2020

Робоча програма навчальної дисципліни «Розрахунки та автоматизоване проектування оптимальних конструкцій» для підготовки фахівців за другим (магістерським) рівнем вищої освіти, спеціальність 122 Комп'ютерні науки, освітня програма «Комп'ютерні науки в техніці, бізнесі та медицині».

Розробники:

_____ Д.Ю. Міхеєнко, канд. техн. наук, ст. викладач

Погоджено з групою забезпечення освітньої програми:

Керівник групи забезпечення:

_____ П.І.Сагайда, докт. техн. наук, доцент

Розглянуто і затверджено на засіданні кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, протокол № 18 від 09.06.2020

Завідувач кафедри:

_____ О.Ф. Тарасов, д-р техн. наук, професор

Розглянуто і затверджено на засіданні Вченої ради факультету автоматизації машинобудування та інформаційних технологій протокол № 8 від 22.06.2020 р.

Голова Вченої ради факультету:

_____ С.В. Подлесний, канд. техн. наук, доцент

I ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Актуальність вивчення дисципліни у зв'язку із завданнями професійної діяльності та навчання.

Дисципліна «Розрахунки та автоматизоване проектування оптимальних конструкцій» виникла на базі досягнень системного аналізу у галузі аналізу та проектування складних об'єктів і систем та реалізації програмного забезпечення, яке створює інтегровані САПР.

1.2 Мета дисципліни – вивчення основних математичних та теоретичних відомостей з організації і функціонування скінченноелементних пакетів прикладних програм. Дисципліна направлена на вироблення у студентів теоретичних і практичних навичок використання інженерних методів розрахунків елементів машин та споруд на міцність, жорсткість та стійкість за допомогою методу скінченних елементів та проектування оптимальних конструкцій виробів машинобудування із застосуванням розрахункових систем скінчено-елементного аналізу.

Основне завдання вивчення дисципліни – навчити майбутнього фахівця з комп'ютерних наук знанням та використанню фундаментальних концепцій і практичних рішень, що лежать у основі методів скінченних елементів.

1.3 Завдання дисципліни:

Знати:

- основні поняття методу скінчених елементів, які покладені в основу сучасних розрахункових (CAE) систем;
- види та особливості постановки задач, які можливо розв'язати зі застосуванням CAE-систем;
- способи розв'язання типових задач на EOM;
- методи аналізу конструкцій виробів машинобудування за допомогою CAE-систем.

Вміти:

- виконати якісну постановку задачі для подальшого її розв'язання за допомогою CAE-системи;
- виконати розв'язання задачі за допомогою CAE-системи;
- виконати аналіз отриманих результатів;
- формулювати рекомендації стосовно поліпшення конструкції, яку вивчається.

1.4 Передумови для вивчення дисципліни: вивчення дисциплін «Комп'ютерна графіка», «Технологія комп'ютерного проектування» та «Технічна механіка».

1.5 Мова викладання: українська.

1.6 Обсяг навчальної дисципліни та його розподіл за видами навчальних занять:

- загальний обсяг становить 165 годин / 5,5 кредитів, в т.ч.:
- денна форма навчання: лекції – 36 годин, лабораторні – 36 годин, самостійна робота студентів – 54 години.
- заочна форма навчання: лекції – 8 годин, лабораторні – 4 години, самостійна робота студентів – 153 години,.

II ПРОГРАМНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен продемонструвати достатній рівень сформованості наступних програмних результатів навчання.

В узагальненому вигляді їх можна навести наступним чином:

у когнітивній сфері

студент здатний продемонструвати:

- розуміння використання чисельних методів для розв'язання інженерних задач;
- здатність до абстрактного мислення, критичного аналізу, оцінки та синтезу нових конструктивних рішень, до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, до побудови логічних висновків, використання математичних моделей для комп'ютерного розв'язання інженерних задач та моделювання процесів;
- здатність до математичного, логічного та просторового мислення, формулювання та досліджування математичних моделей, зокрема геометричних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних задач в галузі комп'ютерного розв'язання інженерних задач, інтерпретування отриманих результатів в різних предметних галузях (технічного, медичного призначення, тощо);
- здатність застосовувати чисельні методи обробки даних при розробці алгоритмічного забезпечення комп'ютеризованих систем для моделювання і дослідження систем різної природи;
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт;
- вміння застосувати комп'ютерні методи обґрунтування та прийняття проектних та технічних рішень, адекватних умовам, в яких функціонують об'єкти інформатизації в різних предметних галузях (технічного та медичного призначення).
- вміння обробляти отримані результати, аналізувати, осмислювати та подавати їх, обґрунтувати запропоновані рішення на сучасному науково-технічному рівні;

– вміння використовувати, розробляти та досліджувати сучасні методи та алгоритми комп'ютерного розв'язання інженерних задач.

в афективній сфері

студент здатний:

– критично осмислювати лекційний та позалекційний навчальний матеріал, аргументувати на основі теоретичного матеріалу, застосовувати вивчені методи пошуку оптимального розв'язку до відповідних практичних задач; розв'язувати задачі, використовуючи пакети програм з методів оптимізації при використанні комп'ютерів, реалізовувати високопродуктивні обчислення на основі сучасних сервісів і технологій;

– застосовувати інформаційні технології проектування для розробки оптимальних конструкцій та моделювання поведінки механічних та біомеханічних об'єктів, автоматизованого проектування виробів різного призначення, а також використання технологій віртуальної реальності для завдань моделювання і навчання;

– спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово;

– співпрацювати із іншими студентами та викладачем в процесі обговорення проблемних моментів на лекційних та практичних заняттях, при виконанні і захисті індивідуальних завдань; ініціювати і брати участь у дискусії з питань навчальної дисципліни, розділяти цінності колективної та наукової етики.

у психомоторній сфері

студент здатний:

– самостійно аналізувати і оцінювати методи комп'ютерного розв'язання інженерних задач та моделювання фізичних процесів;

– застосовувати засоби комп'ютерного розв'язання інженерних задач у практичних ситуаціях;

– контролювати результати власних зусиль в навчальному процесі та коригувати (за допомогою викладача) ці зусилля для ліквідації пробілів у засвоєнні навчального матеріалу або формуванні вмінь;

– самостійно здійснювати пошук, систематизацію, узагальнення навчального матеріалу, розробляти варіанти розв'язування завдань й обирати найбільш раціональні з них.

Формулювання спеціальних результатів із їх розподілом за темами представлені нижче:

Тема	Зміст програмного результату навчання
1	<i>У когнітивній сфері:</i> студент здатний • продемонструвати знання основних чисельних методів; • пояснити принципи проектування складних об'єктів та систем;

Тема	Зміст програмного результату навчання
	<i>в афективній сфері</i> студент здатний: - критично осмислювати лекційний та позалекційний навчальний матеріал, аргументувати на основі теоретичного матеріалу, застосовувати вивчені чисельні методи; <i>у психомоторній сфері на практиці:</i> - студент здатний дати рекомендації що до застосування чисельних методів для розв'язання практичних задач
2	<i>У когнітивній сфері:</i> студент здатний - продемонструвати розуміння аналізу пружності тіла; - пояснити узагальнений закон Гука; - продемонструвати розуміння рівняння рівноваги під навантаженням; <i>в афективній сфері</i> студент здатний: - критично осмислювати лекційний та позалекційний навчальний матеріал, аргументувати на основі теоретичного матеріалу, застосовувати вивчені методи розв'язання рівняння рівноваги тіла під навантаженням; <i>у психомоторній сфері:</i> - студент здатний побудувати прості матриці жорсткості та пружності
3	<i>У когнітивній сфері:</i> студент здатний - продемонструвати розуміння особливостей використання методу скінчених елементів (МСЕ); - пояснити етапи розбиття для МСЕ; - продемонструвати знання типів скінчених елементів; <i>в афективній сфері</i> студент здатний: - критично осмислювати лекційний та позалекційний навчальний матеріал, аргументувати на основі теоретичного матеріалу, застосовувати вивчені сфери застосування МСЕ; <i>у психомоторній сфері:</i> - студент здатний дати рекомендації щодо застосування типів кінцевих елементів
4	<i>У когнітивній сфері:</i> студент здатний - продемонструвати знання основних положень методу скінчених елементів та його реалізація в САЕ-системах; - продемонструвати знання можливостей сучасних САЕ-систем; - продемонструвати вміння формулювання задач скінчено-елементного аналізу у різних САЕ-системах; <i>в афективній сфері</i> студент здатний: - критично осмислювати лекційний та позалекційний навчальний матеріал, аргументувати на основі теоретичного матеріалу, застосовувати вивчені методи використання сучасних САЕ-систем; <i>у психомоторній сфері:</i> - студент здатний дати рекомендації по використанню сучасних САЕ-систем для розв'язання практичних задач.

Тема	Зміст програмного результату навчання
5	<i>У когнітивній сфері:</i> студент здатний • продемонструвати знання основних положень методу скінчених елементів та його реалізація в САЕ-системах; • продемонструвати знання можливостей сучасних САЕ-систем; • продемонструвати вміння формулювання задач скінчено-елементного аналізу у різних САЕ-системах; <i>в афективній сфері</i> студент здатний: • критично осмислювати лекційний та позалекційний навчальний матеріал, аргументувати на основі теоретичного матеріалу, застосовувати вивчені методи скінчено-елементного аналізу до відповідних практичних задач; <i>у психомоторній сфері:</i> • студент здатний виконувати статичні, частотні розрахунки у сучасних САЕ-системах
6	<i>У когнітивній сфері:</i> студент здатний • пояснити сутність процесів передачі теплової енергії; • продемонструвати знання розв'язання задачі термопружності; • продемонструвати знання сучасних шляхів оптимізації конструкцій; <i>в афективній сфері</i> студент здатний: • критично осмислювати лекційний та позалекційний навчальний матеріал, аргументувати на основі теоретичного матеріалу, давати рекомендації по розв'язання задачі термопружності та задачі параметризації у сучасних САЕ-системах; <i>у психомоторній сфері:</i> • студент здатний виконувати прості операції оптимізації конструкцій у сучасних САЕ-системах

III ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

3.1. Розподіл обсягу дисципліни за видами навчальних занять та темами

№ з/п	Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна / заочна форма)				
		Усього	в т.ч.			
			Л	П (С)	Лаб	СРС
Змістовий модуль 1 Основи теорії методу скінченних елементів						
1	Чисельні методи розв’язання інженерних задач. Основи теорії методу скінченних елементів.	27	6/1		6/1	15/25
2	Аналіз пружності тіла Тензор деформацій Тензор напружень. Узагальнений закон Гука, матриці жорсткості і пружності Рівняння рівноваги тіла під навантаженням	28	6/2		6/0	16/26
3	Застосування МСЕ для розрахунку малого напруження тіла під навантаженням. Інші додатки МСЕ. Типи кінцевих елементів. Розбиття для МСЕ	27	6/1		6/1	15/25
Змістовий модуль 2 Основи організації САЕ-систем. Постановка та розв’язання задач аналізу конструкцій						
4	Основні положення методу скінчених елементів та його реалізація в САЕ-системах. Порівняльний аналіз можливостей сучасних САЕ-систем. Вивчення особливостей формулювання задач скінчено-елементного аналізу у різних САЕ-системах.	28	6/2		6/0	16/26
5	Вивчення можливостей САЕ-систем щодо вирішення задачі статичного аналізу конструкції. розв’язання задачі частотного аналізу конструкції та статичного аналізу конструкції в умовах втрати стійкості	28	6/2		6/1	16/25
6	Вивчення можливостей САЕ-систем щодо розв’язання задачі термопружності та задачі параметризації.	27	6/1		6/1	15/25
Усього годин		165	36/8		36/4	93/153

Л – лекції, П (С) – практичні (семінарські) заняття, Лаб – лабораторні заняття, СРС – самостійна робота студентів.

3.2. Тематика лабораторних занять

№ з/п	Тема заняття
1	Статичний аналіз деталі в середовищі САЕ-системи Solid Simulation
2	Виконання частотного аналізу конструкції в середовищі САЕ-системи Solid Simulation
3	Аналіз стійкості конструкції в середовищі САЕ-системи Solid Simulation
4	Виконання теплового аналізу конструкції в середовищі САЕ-системи Solid

№ з/п	Тема заняття
	Simulation
5	Виконання оптимізації конструкції в середовищі CAE-системи Solid Simulation
6	Статичний розрахунок консольної балки в двовимірній постановки в програмі ABAQUS
7	Моделювання статичної лінійної задачі для тривимірного об'єкту на прикладі вигину консольно-закріпленої балки в програмі ABAQUS

IV КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

4.1. Перелік обов'язкових контрольних точок для оцінювання знань студентів денної форми навчання

№	Назва і короткий зміст контрольного заходу	Max балів	Характеристика критеріїв досягнення результатів навчання для отримання максимальної кількості балів
1	Захист лабораторних робіт	65	Студент здатний продемонструвати критичне осмислення лекційного та позалекційного матеріалу, брати кваліфіковану участь у дискусії з наведенням аргументації. Студент виконав лабораторну роботу та навів аргументовані відповіді на запитання.
2	Модульна контрольна робота №1	10	Студент виконав тестові та розрахункові завдання, що відповідають програмним результатам навчання за темами змістового модуля №1
3	Модульна контрольна робота №2	10	Студент виконав тестові та розрахункові завдання, що відповідають програмним результатам навчання за темами змістових модулів №2, 3
4	Індивідуальне завдання	15	Студент здатний навести методику моделювання та розв'язання задачі нелінійного програмування, розробити математичну модель об'єкту та реалізувати його програмно.
Поточний контроль		100(*0,5)	-
Підсумковий контроль		100(*0,5)	Студент виконав тестові та розрахункові завдання та навів аргументовані відповіді на ситуаційні завдання, що відповідають програмним результатам навчання з дисципліни
Всього		100	-

4.2. Перелік обов'язкових контрольних точок для оцінювання знань студентів заочної форми навчання

№	Назва і короткий зміст контрольного заходу	Мак балів	Характеристика критеріїв досягнення результатів навчання для отримання максимальної кількості балів
1	Тестова контрольна робота, яка виконується студентом індивідуально в системі Moodle	40	Студент виконав тестові завдання, що відповідають програмним результатам навчання з дисципліни
2	Письмовий екзамєн (залік)	60	Студент виконав аналітично-розрахункові завдання та навів аргументовані відповіді на ситуаційні завдання, що відповідають програмним результатам навчання з дисципліни
Всього		100	-

4.3. Критерії оцінювання сформованості програмних результатів навчання під час підсумкового контролю

Синтезований опис компетентностей	Типові недоліки, які зменшують рівень досягнення програмного результату навчання
Когнітивні: - студент здатний продемонструвати знання і розуміння основних методів та алгоритмів задач математичного програмування; - студент здатний продемонструвати знання і розуміння основних методів та алгоритмів задач пошуку умовного та безумовного екстремуму; - студент здатний продемонструвати знання і розуміння основних методів та алгоритмів розв'язання багатоетапних задач;	75-89% - студент припускається помилок у описі алгоритмів та методів розв'язання оптимізаційних задач, недостатньо повно визначає зміст математичної моделі, припускається несуттєвих фактичних помилок при визначенні точності методу
	60-74% - студент некоректно формулює алгоритми та методи розв'язання оптимізаційних задач та робить суттєві помилки у змісті математичної моделі, припускається помилок при проектуванні власного алгоритму, припускається помилок у розрахунках та оформленні роботи
	менше 60% - студент не може обґрунтувати свою позицію посиланням на конкретний алгоритм розв'язання оптимізаційних задач, не володіє методикою оптимізаційних розрахунків, не може самостійно підібрати необхідні методи; не має уяви про типи задач
Афективні: - студент здатний критично осмислювати матеріал; аргументувати власну позицію оцінити аргументованість вимог та дискутувати у професійному середовищі; - студент здатний	75-89% - студент припускається певних логічних помилок в аргументації власної позиції в дискусіях на заняттях та під час захисту лабораторних та індивідуальних завдань, відчуває певні складності у поясненні фахівцю окремих аспектів професійної проблематики
	60-74% - студент припускається істотних логічних помилок в аргументації власної позиції, слабо виявляє ініціативу до участі у дискусіях та індивідуальних консультаціях за наявності складності у виконанні

співпрацювати із іншими студентами та викладачем; ініціювати і брати участь у дискусії, розділяти цінності колективної та наукової етики	лабораторних та індивідуальних завдань; відчуває істотні складності при поясненні фахівцю або нефахівцю окремих аспектів професійної проблематики
	менше 60% - студент не здатний продемонструвати володіння логікою та аргументацією у виступах, не виявляє ініціативи до участі у дискусії, до консультування з проблемних питань виконання лабораторних та індивідуальних завдань, не здатний пояснити нефахівцю суть відповідних проблем професійної діяльності; виявляє зневагу до етики навчального процесу
Психомоторні: - студент здатний самостійно працювати, розробляти варіанти рішень, звітувати про них; - студент здатний слідувати методичним підходам до розрахунків; - студент здатний контролювати результати власних зусиль та коригувати ці зусилля	75-89% - студент припускається певних помилок у стандартних методичних підходах та відчуває ускладнення при їх модифікації за зміни вихідних умов навчальної або прикладної ситуації
	60-74% - студент відчуває ускладнення при модифікації стандартних методичних підходів за зміни вихідних умов навчальної або прикладної ситуації
	менше 60% - студент нездатний самостійно здійснювати пошук та опрацювання методів та алгоритмів розв'язання оптимізаційних задач, виконувати індивідуальні завдання, проявляє ознаки академічної недобросовісності при підготовці індивідуальних завдань та виконанні контрольних робіт, не сформовані навички самооцінки результатів навчання і навичок міжособистісної комунікації з прийняття допомоги з виправлення ситуації

4.4. Критерії оцінювання програмних результатів навчання для курсової роботи

Критерії оцінювання курсової роботи	Максимальна кількість балів
Оформлення курсової роботи відповідає вимогам. Основні недоліки: перевищення обсягу; шрифт та інтервал не відповідають встановленим вимогам; відсутня нумерація, заголовки; неправильне оформлення цифрового та ілюстративного матеріалу, додатків тощо	5
Реферат і вступ відповідають вимогам. Основні недоліки: реферат не містить необхідних елементів, у вступі відсутнє обґрунтування актуальності теми та її значущості; не визначені мета та завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, інформаційна база курсової роботи тощо	5
Основна частина відповідає вимогам. Основні недоліки (з урахуванням специфіки теми і завдань роботи): відсутні глибина, всебічність і повнота викладення теоретичного матеріалу; не показані дискусійні питання, відсутній огляд літератури тощо, відсутній табличний та ілюстративний матеріал або його аналіз; використані застарілі дані; наведені дані не пов'язані зі змістом тексту роботи; наявність помилок у розрахунках; недостатня вірогідність і	55

надійність аналітичного обґрунтування тощо	
Висновки відповідають вимогам. Основні недоліки: висновки не мають зв'язку з результатами дослідження та його завданнями; не підведені підсумки за всіма висвітленими питаннями та розділами; поверховий аналіз і недостатньо обґрунтовані висновки тощо	10
Список використаних джерел відповідає вимогам. Основні недоліки (з урахуванням специфіки теми і завдань роботи): недостатній рівень інформаційного забезпечення; неправильно оформлений; відсутня законодавча база; застаріла періодична література тощо.	5
<i>Всього за результатами рецензування</i>	<i>80</i>
Демонстрація розуміння теоретичних основ теми дослідження, ступеню володіння практичними аспектами теми дослідження, спроможності аргументувати власну точку зору щодо проблем і шляхів їх вирішення за даною роботою, в т.ч. в ході надання відповідей на запитання членів комісії	20
<i>Всього за результатами захисту</i>	<i>20</i>
Всього за результатами рецензування і захисту	100

V ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ

№	Назва і короткий зміст контрольного заходу	Характеристика змісту засобів оцінювання
1.	Захист лабораторних робіт	- опитування за термінологічним матеріалом, що відповідає темі роботи; - оцінювання аргументованості звіту про розбір ситуаційних завдань; - оцінювання активності участі у дискусіях
2.	Індивідуальне завдання	- письмовий звіт про виконання індивідуального завдання; - оцінювання самостійності та якості виконання завдання в ході звіту-захисту та співбесіди
3.	Модульні контрольні роботи	- стандартизовані тести; - аналітично-розрахункові завдання;
	Підсумковий контроль	- стандартизовані тести; - аналітично-розрахункові завдання;

VI РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

6.1. Основна література

1. Finite Element Analysis for Design Engineers Paul M. Kurowski SAE International, 2004 – 186 p
2. Amar Khennane Introduction to Finite Element Analysis Using MATLAB® and Abaqus/ CRC Press, 2010 – 487 p

3. Алямовский, А. А. Инженерные расчеты и SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. - М.: ДМК Пресс, 2015. - 464 с.
4. Овчаренко, В. А. Расчет задач машиностроения методом конечных элементов / В. А Овчаренко. – Краматорск : ДГМА, –2004. – 126 с.
5. Овчаренко, В. А. Основи методу скінченних елементів і його застосування в інженерних розрахунках : навчальний посібник / В. А. Овчаренко, С. В. Подлесний, С. М. Зінченко – Краматорськ : ДДМА, 2007. – 344 с.
6. Курс лекций по дисциплине «Автоматизированное проектирование оптимальных конструкций» для студентов специальности 7.080402 дневной и заочной форм обучения / сост. : С. А. Короткий. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 80 с.
7. Методические указания к лабораторным, контрольным и самостоятельным работам по дисциплине «Автоматизированное проектирование оптимальных конструкций» для студентов очной и заочной форм обучения специальности 7.080402 / Сост. С.А. Короткий, Ю.А. Шабалина, С.В. Таран. – Краматорск: ДГМА, 2012. – 46 с.

6.2. Базова

8. Шелофаст В.В. Основы проектирования машин. М.: Изд-во АПМ, 2000. – 472 с.
9. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. / Под ред. Н.С. Бахвалова. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
10. Метод конечных элементов: учебное пособие для втузов / П.М. Варвак, И.М. Бузун, А.С. Городецкий и др. – Киев: Вища школа, 1981. – 176 с.
11. Знакомство с COSMOSWorks: Руководство пользователя. - SolidWorks Corporation, 2003.-106 стр.
12. Метод конечных элементов: теория и численная реализация. Программный комплекс «ЛИРА-Windows» / А.С. Городецкий и др. – К.: ФАКТ, 1997. – 138 с.
13. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
14. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
15. Писаренко Г.С. и др. Сопротивление материалов. – К., Наук. думка, 1988. – 736 с.

6.3. Допоміжна

16. Габасов Рафаил и др. Конструктивные методы оптимизации. – Минск: Изд-во «Университетское», 1986. – 224 с.
17. Норри Д. Фриз Ж. и др. Введение в метод конечных элементов. М.: Мир, 1987. – 328 с.

18. Математические методы механики деформируемого тела. / Институт проблем механика: отв. ред. Р.В. Гольдштейн, О.А. Олейник. – М.: Наука, 1986. – 168 с.
19. APM WinMachine. Краткое описание продукта. – М.: Изд-во «АПМ», 2002. – 64 с.

6.4 Інформаційні ресурси

20. http://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_конечных_элементов
21. http://ru.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_engineering
22. http://habrahabr.ru/hub/cad_cam/