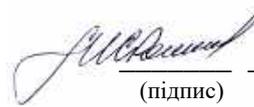


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра Теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем (№ 202)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Максим РОМАНОВ
(підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

«_27» ____06____ 2025 р.

**СИЛАБУС ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Прикладна механіка

назва навчальної дисципліни

)

Галузь знань: _13 Механічна інженерія
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: _131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма: __ Роботомеханічні системи і логістичні комплекси __
(найменування освітньої програми)

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Силабус введено в дію з 01.09.2025

Харків – 2025 р.

Розробник: Нарижний О.Г., доцент, канд.. техн.. наук, доцент
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри № 202
Теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем)_
(назва кафедри)

Протокол № 10 від « 27 » 06 2025 р.

Завідувач кафедри д.т.н, професор
(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Олег БАРАНОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

здобувач вищої освіти групи 239


(підпис)

Микита КОВАЛЬОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

1. Загальна інформація про викладача



ПІБ:Нарижний Олександр Георгійович

Посада: доцент кафедри

Науковий ступінь: канд.. техн.. наук

Вчене звання: доцент

Перелік дисциплін, які викладає:

- Прикладна механіка
 - Динамічна стійкість промислових роботів
 - Динаміка механічних систем
 - Теоретичні основи інженерного аналізу
-

Напрями наукових досліджень:

- Чисельне комп'ютерне моделювання динаміки гетерогенних механічних систем
-

Контактна інформація:

- o.naryzhniy@khai.edu
-

2. Опис навчальної дисципліни

Форма здобуття освіти	Денна
Семестр	4 (нормативний), 2 (скорочений)
Мова викладання	Українська
Тип дисципліни	Обов'язкова
Обсяг дисципліни: кредити ЄКТС/ кількість годин	6 кредитів ЄКТС / 180 годин (96 аудиторних, з яких: лекції –48, практичні –48; СРЗ –84);
Види навчальної діяльності	Лекції, практичні (семінарські) заняття, самостійна робота
Види контролю	Поточний контроль, модульний контроль, семестровий контроль – іспит
Пререквізити	Математичний аналіз Теоретична механіка та теорія машин та механізмів
Кореквізити	Механіка матеріалів та конструкцій
Постреквізити	Основи конструювання роботів Основи проектування робото технічних систем Динамічна стійкість промислових роботів Кваліфікаційна робота бакалавра

3. Мета та завдання навчальної дисципліни, переліки компетентностей та очікуваних результатів навчання

Мета – Вивчення навчальної дисципліни «Прикладна механіка» полягає в формуванні системи знань, способів діяльності та творчих здібностей з основних теоретичних положень про закономірності та особливості руху роботів-маніпуляторів, а також засвоєння методів та вмінь, які б дозволяли на практиці реалізувати ці знання.

Завдання – Вивчення сучасних методів формулювання та рішення задач кінематики, динаміки та планування руху роботів- маніпуляторів для їх ефективного використання

Компетентності, які набуваються:

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми галузевого машинобудування, що передбачає застосування певних теорій та методів відповідних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності (ЗК)

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

- до застосування знання у практичних ситуаціях.
- до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- генерувати нові ідеї.
- ухвалювати рішення та діяти, дотримуючись принципу неприпустимості корупції та будь-яких інших проявів недоброчесності.

Спеціальні компетентності

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

- застосовувати типові аналітичні моделі та комп'ютерні програмні засоби для розв'язування інженерних завдань галузевого машинобудування, ефективні кількісні методи математики, фізики, інженерних наук, а також відповідне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язування інженерних задач галузевого машинобудування.
- застосовувати фундаментальні наукові факти, концепції, теорії, принципи для розв'язання професійних задач і практичних проблем галузевого машинобудування.
- оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
- втілювати інженерні розробки у галузевому машинобудуванні з урахуванням технічних, організаційних, правових, економічних та екологічних аспектів за усім життєвим циклом машини від проектування, конструювання, експлуатації, підтримання працездатності, діагностики та утилізації.

- застосовувати комп'ютеризовані системи проектування та спеціалізоване програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань в галузі машинобудування.
- приймати ефективні рішення щодо вибору конструкційних матеріалів, обладнання, процесів та поєднувати теорію і практику для розв'язування інженерного завдання.
- представляти результати своєї інженерної діяльності з дотриманням загальноприйнятих норм та стандартів.
- до просторового мислення і відтворення просторових об'єктів, конструкцій та механізмів у вигляді проекційних креслень та тривимірних геометричних моделей.
- використання знання та розуміння основних співвідношень стосовно кінематики і динаміки маніпуляторів, математичних моделей руху та методик їх аналізу.

Програмні результати навчання:

- знання та розуміння засад технологічних, фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі галузевого машинобудування відповідної галузі.
- знання та розуміння механіки і машинобудування та перспектив їхнього розвитку.
- знання та розуміння систем автоматичного керування об'єктами та процесами галузевого машинобудування, навички їх практичного використання.
- вміння здійснювати інженерні розрахунки для вирішення складних задач і практичних проблем у галузевому машинобудуванні.
- вміння аналізувати інженерні об'єкти, процеси та методи.
- вміння вільно спілкуватися з інженерним співтовариством усно та письмово державною та іноземною мовами.
- вміння розробляти деталі та вузли машин із застосуванням систем автоматизованого проектування.
- вміння використовувати знання теоретичних основ механіки рідин і газів, теплотехніки та електротехніки для вирішення професійних завдань.
- вміння виконувати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість деталей машин.
- вміння оцінювати надійність деталей і конструкцій машин в процесі статичного та динамічного навантаження.
- вміння формулювати моделі механічних систем роботів, пов'язаних з рішенням задач кінематики і динаміки маніпуляторів, розраховувати траєкторії руху робочих органів роботів.

4. Зміст навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Змістовний модуль 1. Кінематика маніпуляторів.

Тема 1. Просторові описи та перетворення

Вступ в дисципліну.

Описи положення, орієнтації та систем координат. Відображення: зміна описів від системи до системи. Оператори переносу, обертання та перетворення. Стислий огляд інтерпретацій. Перетворювальна арифметика. Рівняння перетворення. Докладніше про подання орієнтації. Перетворення вільних векторів. Розрахункові міркування.

Лекція 1. Описи.

Лекція 2. Відображення.

Лекція 3. Арифметика перетворювань.

Лекція 4. Деякі перетворення.

Практичне заняття 1. Ознайомлення з Маткадом.

Практичне заняття 2. Операції з матрицями обертання та векторами зсуву

Практичне заняття 3. Операції з матрицями однорідного перетворення.

Практичне заняття 4. Складне та зворотне перетворення для опису положення вектору і системи. Рівняння перетворення.

Самостійна робота (10 год.) Підготовка до практичних занять. Опрацювання матеріалу лекцій,

Тема 2. Пряма кінематика маніпулятора

Опис ланки. Опис з'єднань ланок робота. Правила прикріплення систем координат до ланок. Кінематика маніпулятора. Простір приводу, простір з'єднань та декартовий простір. Приклади : кінематика двох промислових роботів. Системи зі стандартними назвами. Де знаходиться інструмент? Обчислювальні міркування.

Лекція 5.. Опис ланки та з'єднань ланок.

Лекція 6. Процедури приєднання системи координат до ланки.

Лекція 7. Простори приводів, з'єднань та декартов простір.

Лекція 8. Маніпулятор Yasukawa Motoman L-3. Системи з стандартними назвами.

Практичне заняття 5. Складне та зворотне перетворення для опису положення вектору і системи. Рівняння перетворення..

Практичне заняття 6. Будова маніпулятора. Ступінь рухливості маніпулятора. Маневреність маніпулятора.

Практичне заняття 7-8. Параметри Денавіта-Хартенберга. Метод Денавіта-Хартенберга.

Самостійна робота (10 год.) Підготовка до практичних занять. Опрацювання матеріалу лекцій.

Тема 3. Зворотна кінематика маніпулятора

Розв'язність задачі. Поняття підпростору маніпулятора при $n < 6$. Алгебраїчне та геометричне рішення. Алгебраїчне рішення шляхом приведення до полінома. Рішення Пайпера, коли три осі перетинаються. Приклади зворотної кінематики маніпулятора. Стандартні системи. Рішення маніпулятора. Повторюваність та точність. Обчислювальні міркування.

Лекція 9. Зворотна задача кінематики на прикладі маніпулятора Unimation PUMA 560.

Лекція 10. Алгебраїчне та тригонометричне рішення зворотної задачі.

Лекція 11 Зворотна задача для маніпулятора PUMA 560.

Практичне заняття 9. Зворотна задача кінематики на прикладі маніпулятора Unimation PUMA 560

Самостійна робота (8 год.) Підготовка до практичних занять. Опрацювання матеріалу лекцій.

Тема 4. Якобієви матриці та якобіани

Позначення для положення та орієнтації, які змінюються за часом. Лінійна та обертальна швидкість твердих тіл. Більше про кутову швидкість. Рух ланок робота. «Поширення» швидкості від ланки до ланки. Якобіани. Сингулярності. Статичні сили в маніпуляторах. Якобіани в області сил. Декартове перетворення швидкостей і статичних сил.

Лекція 12. Позначення для положення та орієнтації, які змінюються за часом.

Лекція 13. Різні уявлення кутової швидкості

Лекція 14. Сингулярності.

Практичне заняття 10. Якобієві матриці та якобіани. Знаходження швидкості та прискорення точки, кутової швидкості та кутового прискорення ланки.

Самостійна робота (4 год.) Підготовка до модульної контрольної роботи.

Модульний контроль 1 (2 год.).

Змістовний модуль 2. Динаміка та планування траєкторій

Тема 5. Динаміка маніпулятора

Метод Лагранжа-Ейлера. Швидкість довільної точки ланки маніпулятора. Кінетична енергія маніпулятора. Потенціальна енергія маніпулятора. Рівняння руху маніпулятора. Рівняння руху маніпулятора з обертальними зчленуваннями. Приклад: дволанковий маніпулятор.

Рівняння Н'ютона-Ейлера. Обертальні системи координат. Рухомі системи координат. Кінематика ланцюгів. Рекурентні рівняння динаміки маніпулятора. Рекурентні рівняння руху ланки в системі координат, пов'язаної з цією ланкою. Розрахунковий алгоритм. Приклад: дволанковий маніпулятор.

Узагальнені рівняння Д'Аламбера.

Емпіричний підхід до формулювання спрощеної динамічної моделі

Приклад: дволанковий маніпулятор. Висновки

Лекція 15. Прискорення твердого тіла.

Лекція 16. Тензор інерції. Ітеративне формулювання динаміки Ньютона-Ейлера.

Лекція 17. Структура рівнянь динаміки маніпулятора.

Лекція 18-19. Лагранжеве формулювання динаміки маніпулятора.

Лекція 20. Приклад отримання рівнянь Лагранжа-Ейлера.

Лекція 21. Урахування ефектів нежорсткого тіла в рівняннях динаміки.

Практичне заняття 11. Застосування принципу Даламбера для знаходження реакцій в кінематичних парах (розглянути на прикладі обов'язкової розрахункової задачі).

Практичне заняття 12. Тензор інерції ланки маніпулятора.

Практичне заняття 13. Внутрішні ітерації для обчислення сил і крутних моментів.

Практичне заняття 14. Метод Ньютона–Ейлера для визначення рівняння руху маніпулятора.

Практичне заняття 15. Метод Лагранжа для визначення рівняння руху маніпулятора.

Практичне заняття 16. Рівняння декартового простору станів

Практичне заняття 17. Рівняння конфігураційного простору.

Практичне заняття 18. Рівняння крутного моменту в декартовому просторі конфігурацій.

Практичне заняття 19. Планування траєкторій маніпуляторів у приєднаних координатах.

Самостійна робота (40 год.) Підготовка до практичних занять, опрацювання матеріалу лекцій (20 год); виконання індивідуального завдання (20 год.).

Тема 6. Планування траєкторій маніпуляторів.

Загальна задача планування траєкторій. Згладжені траєкторії у просторі приєднаних змінних. Опис траєкторій кубічними сплайнами.

Планування траєкторій в декартових координатах. Метод, що використовує однорідну матрицю перетворень

Спряження між двома частинами траєкторії. Планування траєкторій з використанням кватерніонів. Приклади.

Планування траєкторій в декартових координатах. Алгоритм формування траєкторій з обмеженими відхиленнями.

Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів з обмеженнями моментів. Обмеження за швидкістю. Обмеження за прискоренням. Обмеження за швидкістю зміни прискорення.

Заключний огляд питань курсу.

Лекція 22. Загальна задача планування траєкторій.

Лекція 23. Опис руху точки по траєкторії.

Лекція 24. Алгоритм формування траєкторій з обмеженими відхиленнями

Практичне заняття 20. Планування траєкторій маніпуляторів у приєднаних координатах

Практичне заняття 21. Планування траєкторій в декартових координатах

Практичне заняття 22. Планування траєкторій з використання кубічних сплайнів.

Самостійна робота (12 год.) Підготовка до практичних занять. Опрацювання матеріалу лекцій. (6 год); підготовка до модульної контрольної роботи (6 год.).

Модульний контроль 2 (2 год.).

5. Індивідуальні завдання

Індивідуальне завдання «Кінематика та динаміка маніпулятора»

6. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації, самостійна робота студентів по виконанню індивідуального завдання, самостійна робота студентів за рекомендованими матеріалами.

7. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, виконання та захист індивідуального завдання, фінальний контроль у вигляді іспитів.

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

Таблиця 8.1 – Розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Активність під час аудиторної роботи	0...1	24	0...24
Модульний контроль	0...20	1	0...20
Змістовний модуль 2			
Активність під час аудиторної роботи	0...1	22	0...22
Модульний контроль	0...14	1	0...14
Виконання і захист РГР (РР, РК)	0...20	1	0...20
Усього за семестр			0...100

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови здобувача освіти від балів підсумкового контролю й за наявності допуску до іспиту. Під час складання семестрового іспиту здобувач освіти має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох теоретичних питань та однієї задачі. Максимальна кількість балів за одне теоретичне питання –20, за задачу –60. Загальна максимальна кількість балів дорівнює 100 балів

Таблиця 8.2 – Розподіл балів, які отримують здобувачі освіти за виконання курсової роботи (проєкту) (згідно з навчальним планом не передбачено)

Пояснювальна	Ілюстративна	Захист роботи	Сума
--------------	--------------	---------------	------

записка	частина		
0...xx	0...xx	0...xx	100

Таблиця 8.3 – Шкали оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційний залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

Критерії оцінювання роботи здобувача освіти протягом семестру

Задовільно (60-74) – мати знання і уміння для забезпечення програмних результатів навчання. Виконати та здати розрахунково-графічну роботу. Написати дві модульні роботи.

Добре (75-89) – мати знання, уміння й навички, які відповідають рівню задовільно. Додатково до вимог, які визначено для отримання задовільної оцінки, мати знання та уміння, позначені нижче.

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

1. Предмет та метод дисципліни.
2. Основні поняття. Зв'язок з іншими науковими та учбовими дисциплінами.
3. Основні задачі дисципліни.
4. Довідки з алгебри матриць.
5. Пряма задача кінематики.
6. Матриці елементарного повороту.
7. Матриці складного повороту.
8. Матриця повороту відносно довільної осі.
9. Представлення матриць за допомогою кутів Ейлера.
10. Геометричний сенс матриці повороту.
11. Геометричний сенс однорідної матриці перетворень.
12. Однорідна матриця послідовності перетворень.
13. Обертання однорідної матриці
14. Ланки, кінематичні пари, їх параметри.
15. Метод визначення систем координат за Денавітом-Хартенбергом.
16. Класифікація маніпуляторів.
17. Алгоритм побудови систем локальних координат.
18. Рівняння кінематики та матриця маніпулятора.
19. Опис орієнтації хвату за допомогою кутів Ейлера.
20. Опис орієнтації хвату за допомогою кутів крену, тангажу та ристання.
21. Метод Лагранжа-Ейлера.
22. Швидкість довільної точки маніпулятора.

23. Кінетична енергія маніпулятора.
24. Потенційна енергія маніпулятора.
25. Рівняння руху маніпулятора.
26. Загальні рівняння руху маніпулятора.
27. Рівняння руху маніпулятора з обертальними парами.
28. Вектор сил інерції.
29. Приклад: двох ланковий маніпулятор.
30. Загальна задача планування траєкторій.
31. Згладжені траєкторії у просторі приєднаних змінних.
32. Опис траєкторій кубічними сплайнами.
33. Планування траєкторій в декартових координатах. Метод, що використовує однорідну матрицю перетворень
34. Спряження між двома частинами траєкторії.
35. Планування траєкторій з використанням кватерніонів. Приклади.
36. Планування траєкторій в декартових координатах. Алгоритм формування траєкторій з обмеженими відхиленнями.
37. Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів з обмеженнями моментів.
38. Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів з обмеженням за швидкістю.
39. Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів з обмеженням за прискоренням.
40. Опис траєкторій за допомогою кубічних сплайнів з обмеженням за швидкістю зміни прискорення.

Необхідний обсяг умінь для одержання позитивної оцінки:

1. Основи програмування та рішення задач в системі MathCAD.
2. Операції матричної алгебри.
3. Побудова елементарних матриць обертання
4. Побудова матриць послідовностей обертання
5. Рішення прямої задачі кінематики.
6. Рішення зворотної задачі кінематики.
7. Побудова елементарних однорідних матриць перетворень
8. Побудова однорідних матриць послідовності перетворень
9. Метод Денавіта-Хартенберга на прикладі маніпулятора ПУМА
10. Побудова рівнянь руху маніпулятора
11. Рішення задачі динаміка маніпулятора за методом Лагранжа-Ейлера
12. Рішення задачі динаміка маніпулятора за методом кінетостатики
13. Планування траєкторій в декартових координатах
14. Планування траєкторій з використанням кватерніонів
15. Використання кубічних сплайнів з обмеженнями моментів

Відмінно (90-100) – мати знання, уміння й навички, що дадуть змогу самостійно, вільно та обґрунтовано відповідати на будь-які питання щодо аналізу кінематики, динаміки та проектування траєкторій маніпулятора

довільної конструкції. Для цього окрім вимог для отримання оцінки «добре» вільно формулювати рівняння кінематики та динаміки, а також вирішувати ці задачі з використанням MathCAD.

9. Політика навчального курсу

Відвідування занять. Регуляція пропусків. Інтерактивний характер курсу передбачає обов'язкове відвідування практичних занять. Здобувачі освіти, які за певних обставин не можуть відвідувати практичні заняття регулярно, повинні протягом тижня узгодити із викладачем графік індивідуального відпрацювання пропущених занять. Окремі пропущені заняття мають бути відпрацьовані на найближчій консультації протягом тижня після їх пропуску. Відпрацювання занять здійснюється усно у формі співбесіди за питаннями, визначеними планом заняття. В окремих випадках дозволяється письмове відпрацювання пропущених занять шляхом виконання індивідуального письмового завдання.

Дотримання вимог академічної доброчесності здобувачами освіти під час вивчення навчальної дисципліни. Під час вивчення навчальної дисципліни здобувачі освіти мають дотримуватися загальноприйнятих морально-етичних норм і правил поведінки, вимог академічної доброчесності, передбачених Положенням про академічну доброчесність Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu/assets/files/polozhennya/polozhennya-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf>). Очікується, що роботи здобувачів освіти будуть їх оригінальними дослідженнями або міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших здобувачів освіти становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі здобувача освіти є підставою для її незарахування викладачем незалежно від масштабів плагіату чи обману.

Вирішення конфліктів. Порядок і процедури врегулювання конфліктів, пов'язаних із корупційними діями, зіткненням інтересів, різними формами дискримінації, сексуальними домаганнями, міжособистісними стосунками та іншими ситуаціями, що можуть виникнути під час навчання, а також правила етичної поведінки регламентуються Кодексом етичної поведінки в Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu/ua/university/normativna-baza/ustanovchi-dokumenty/kodeks-etichnoi-povedinki/>).

10. Методичне забезпечення

1. Меньшиков В.О. Динаміка механізмів: навч. посіб. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2016. 91 с.

- http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Menshukov_Dunamika_Mehanizmov.pdf
2. Усік В.В. Курс теорії механізмів і машин: навч. посіб.- Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2019. 86 с.
http://library.khai.edu/library/fulltexts/Knigi/Usik_Kurs_Teoriyi.pdf
 3. Наріжний О.Г. Лекції з прикладної механіки
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=2753>

11. Рекомендована література

Базова

1. Елементи робототехнічних пристроїв і модулі ГВС: Підручник /За заг. ред. Л.С.Ямпольського. – К.: Вища шк., 1992. – 431 с.
2. Основи робототехніки. Навчальний посібник/ Н.В. Морзе, Л.О. Варченко_Троценко, М.А. Гладун.- Кам'янець-Подільський ПП Буйницький О.А., 2016.- 184 с. ISBN -617-608-063-3
3. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.

Допоміжна

1. Craig J.J. Introduction to robotics. Mechanics end control. Pearson Prentice hill, 2005.- 408 p.
2. Fu K.S., Gonzalez R.C.,Lee C.S.G. Robotics: control, sensing, vision and intelligence.-McGrow-Hill, 1987.-594 p.

12. Інформаційні ресурси

1. <https://education.khai.edu/department/202>
2. <https://k202.tilda.ws/>