

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Транспортна інженерія»

Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Динаміка автомобільного підйомника для водія з обмеженими
можливостями

за освітньою програмою «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні,
меліоративні машини і обладнання»

зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент групи: ПМ2326


(підпис)

/ Олександр ГРИГОРЕНКО /

Керівник:


(підпис)

/ Павло АНОФРІЄВ /

Нормоконтролер:


(підпис)

/ Олександр ПОСМІТЮХА /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Дніпро – 2025

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty of Transport Engineering

Department of Applied Mechanics and Materials Science

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: **Dynamics of a car lift for a driver with disabilities**

according to educational curriculum «Lifting and transport, construction, road, reclamation machines and equipment»

in the Speciality: 133 Industrial Engineering

Done by the student of the group: ПМ2326

Scientific Supervisor:

Normative controller :



/ Oleksandr GRIGORENKO /

/ Pavlo ANOFRIIEV /

/ Oleksandr POSMITIUKHA /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Транспортна інженерія

Кафедра: Прикладна механіка та матеріалознавство

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Освітня програма: Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
Сергій РАКША

(підпис)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

студенту Григоренко Олександр Васильовичу

1. Тема роботи: Динаміка автомобільного підйомника для водія з обмеженими можливостями

Керівник роботи: Анофрієв Павло Григорович, к. т. н., доцент

затверджені наказом від "27" 10 2023 р. № 1043ст

2. Строк подання студентом роботи: 12.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Підйомник для водія з обмеженими можливостями

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати): опис конструкцій і характеристик підйомників для людей з обмеженими можливостями; математична модель коливань підйомника зі ступеневим навантаженням; розробка і налагодження S-моделі коливань підйомника.

5. Перелік демонстраційного матеріалу:

1. Тема та завдання роботи

2. Розрахункова схема і математична моделі коливань автомобільного підйомника для водія з обмеженими можливостями

3. S-модель коливань підйомника

4. Результати дослідження характеристик коливань підйомника під дією ступеневого навантаження

5. Результати розрахунків напружень у конструкції підйомника з урахування динамічного навантаження

6. Висновки

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд науково-технічної інформації щодо підйомників для водія з обмеженими можливостями	04-10.11.2024	30%
2	Складання математичної і S-модель коливань підйомника для водія з обмеженими можливостями	09-15.12.2024	60%
3	Дослідження коливань підйомника, побудова графіків. Складання презентації	06-12.01.2025	100%

Студент


(підпис)

Олександр ГРИГОРЕНКО

Керівник роботи


(підпис)

Павло АНОФРІЄВ

РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

В записці всього 55 сторінок

Найменування роботи: «Динаміка автомобільного підйомника для водія з обмеженими можливостями».

Ілюстрації: схем _____ = _____; рисунків 61 _____;
графіків _____ = _____; фотографій _____ = _____;
таблиць 10 _____.

Ключові слова: ЛЮДИНА З ІНВАЛІДНІСТЮ, ПІДЙОМНИК, КОЛИВАННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ.

Виконано огляд конструкцій і аналіз характеристик підйомників для людей з інвалідністю.

Розглянуто математичну модель підйомника з одним ступенем свободи і ступеневим навантаженням, що описує несталі коливання цієї механічної системи. Розраховано власні частоти вільних коливань системи за чотирьома розрахунковими схемами навантаження.

За математичною моделлю підйомника і за допомогою інструментів візуального програмування додатку Simulink математичної системи Matlab побудовано і налагоджено імітаційну модель, яка дозволяє швидко розраховувати та візуалізувати хід коливальних процесів у системі.

За допомогою імітаційної моделі виконано дослідження несталі коливання системи зі ступеневим навантаженням за чотирьома розрахунковими схемами навантаження.

ВСТУП	5
1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ПІЙОМНИКІВ	6
2 КОНСТРУКЦІЯ ПІДЙОМНИКА	19
2.1 Схема і характеристики підйомника	20
3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОЛИВАНЬ ПІДЙОМНИКА	22
3.1 Розрахункова динамічна схема	22
3.2 Математична модель вимушених коливань, що не встановилися	23
3.3 Аналітичний метод визначення коливань системи	24
3.4 Визначення темпу затухання вільних коливань системи	25
4 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ КОЛИВАНЬ ПІДЙОМНИКА	27
4.1 Будова імітаційної моделі	27
4.2 Коливання системи за схемою навантаження I	28
4.3 Коливання системи за схемою навантаження II	35
4.4 Коливання системи за схемою навантаження III	41
4.5 Коливання системи за схемою навантаження IV	47
5 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ ПІДЙОМНИКА	50
5.1 Коливання системи під час навантаження	50
5.2 Динамічні сили, що діють на систему	50
ВИСНОВОК	53
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	54

					ДІПТ.480000.104.КРПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Григоренко			<i>Динаміка автомобільного підйомника для водія з обмеженими можливостями</i>	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Анофрієв					4	55
Реценз.						УДУНТ, гр. ПМ2326		
Н. Контр.		Посмітюха						
Затверд.		Ракша						

ВСТУП

В усіх цивілізованих державах світу дбають про потреби людей з інвалідністю, що пов'язані переміщенням у просторі: вхід (вихід) в помешкання, поїздки на роботу, в лікарню, до соціальних установ, на зустріч з друзями. Для реалізації цих потреб на входах у помешканнях і різних установ будують похилі пандуси, але є міста де немає міста для таких споруд. В такому випадку використовують підйомники. Для посадки в автомобіль, у громадський транспорт використовують спеціальні підйомники, що здатні підіймати візок з людиною.

Об'єднує всі підйомники динамічний процес підйому (опускання) людини із забезпеченням надійності, безпеки та зручності.

У першому розділі роботу розглянуті конструкції і характеристики підйомників стаціонарних та тих, що використовують на особистому та громадському автотранспорті.

У другому і третьому розділах роботу розроблено математична модель несталих коливань підйомника під дією ступінчастого навантаження.

На базі математичної моделі несталих коливань підйомника у четвертому розділі побудована і налагоджена імітаційна модель коливань підйомника. За допомогою імітаційної моделі для чотирьох ключових схем навантаження підйомника отримані характеристики його коливань у часі: амплітуди переміщень, швидкості та прискорень.

У останньому розділі розраховані динамічні навантаження, що діють на підйомник. Визначені напруги у конструкції підйомника з урахуванням динамічних сил.

					ДІП.480000.104.КРПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ПІЙОМНИКІВ

Будівництвом підйомників для людей з інвалідністю займаються компанії по всьому світу. Українські підприємства, що розробляють і виготовляють підйомно-транспортне обладнання теж мають такий важливий напрямок своєї діяльності. Встановлюють підйомники у місцях де не достатньо площі для розташування якісного пандуса. За кінематикою руху підйомників для людей з інвалідністю їх можливо класифікувати як:

- ~ вертикальні;
- ~ похилі;
- ~ криволінійний.

Підйомники бувають стаціонарні, та такі, що переміщуються на транспортних засобах. Біля під'їздів, магазинів, аптек, державних установ розміщують стаціонарні підйомники. У лікувальних закладах і промислових підприємствах використовують підйомники, які мають колеса. Сучасний громадський транспорт також обладнаний підйомниками різних конструкцій з електричним та гідравлічними проводами.

Вітчизняна компанія Форстор Індастрі (м. Дніпро) проектує і буде стаціонарні вертикальні підйомники (рис. 1.1), як альтернатива пандусам.



Рис. 1.1 Вертикальний підйомник

					ДІПТ.480000.104.КРПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підйомник має плавний рух завдяки гідравлічній системі приводу, низький рівень шуму під час підйому (спуску) людини на платформі. Безпеку людини на платформі забезпечують огороження, поручні та хвртки із замками. Підйомник зручний та безпечний, має добрі експлуатаційні характеристики (таблиця 1.1), які забезпечить високу надійність та довговічність підйомника [(1)].

Таблиця 1.1

Характеристики підйомника для людей з інвалідністю

Висота підйому, мм	≤ 4000
Вантажність, кН	2,5
Розмір платформи (стандарт), мм	1250×950
Максимальна швидкість, м/с	0,15
Електроживлення, В, Гц	220, 50
Система управління, В	24
Рівень шуму, дБ	≤ 63
Потужність електродвигуна, кВт	0,75
Привід	гідравлічний
Управління	кнопки постійного натискання
Платформа	фрикційне покриття
Двері й огороження	нержавіюча або фарбована труба

Для руху вздовж сходів використовують похилі підйомники (рис. 1.2), в яких платформа може при необхідності складатися (розкладатися).



Рис. 1.2 Похилий підйомник

Таблиця 1.2

Характеристики похилого підйомника

Вантажопідйомність, кН	1500
Розмір платформи (стандарт), мм	1200×850
Максимальна швидкість, м/с	0,1
Електроживлення, В	380, 50
Система управління, В	24
Рівень шуму, дБ	≤ 63
Електродвигун, Вт	550
Регульовані опори, мм	60
Управління	кнопки постійного натискання
Платформа	фрикційне покриття; ручне складання

електричним проводом[(2)]. Підійомника має італійський бренд, а країна – виробник – Китай



Рис. 1.4 Підійомник електричний – OSD-1790V

Таблиця 1.4

Призначення	Підйом, пересаджування та транспортування пацієнтів
Максимальне навантаження, кН	1,3
Привод	Електричний
Живлення	АКБ
Конструкція	Важільна, розбірна
Матеріал	Конструкційна сталь
Висота, м	142...192
Ширина, м	59...87
Колеса, дюйм	5
Маса, кг	39

Для доступу до басейнів використовують самохідний підйомник з електричним приводом (рис. 1.6). Безпеку роботи підйомника забезпечують: аварійний ручний насос, пасок безпеки, система безпеки, що запобігає надмірному руху підйомника до води. Підйомник має невеликі габаритні розміри зручне пластикове крісло з підлокітниками і паском безпеки. Конструкція механізму підйому підйомника схожа з механізмом підйому, що використовують в екскаваторах. Система управління підйомником не потребує спеціальних навиків. Плавність ходу забезпечують гумові ходові колеса.

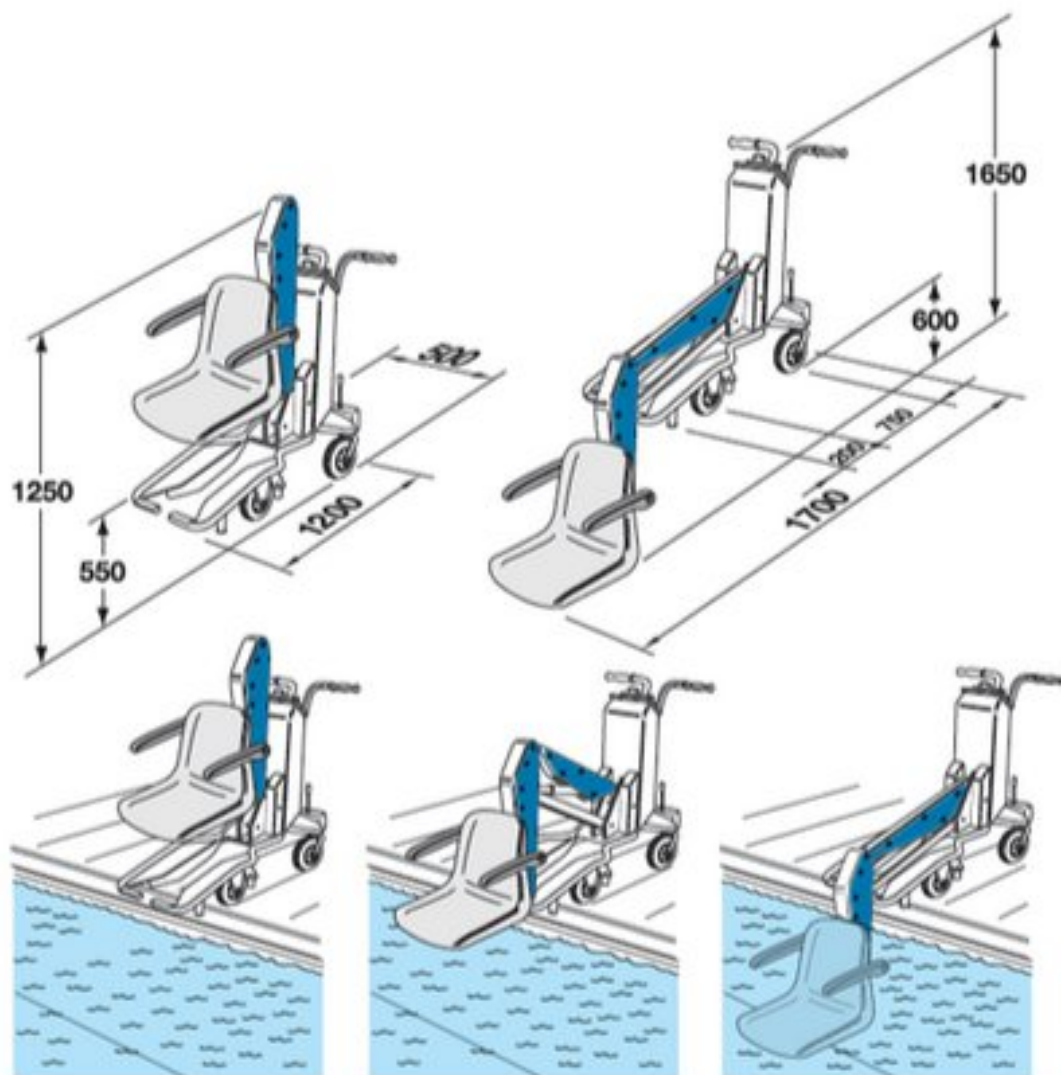


Рис. 1.6 Підйомник для доступу до басейну

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.480000.104.КРПЗ

Арк.

12

Технічні характеристики

Вантажопідйомність, кг	110
Макс. довжина, мм	1150
Час підйому, с	17
Час занурення, с	23
Маса підйомника, кг	120
Шасі	оцинкована сталь FE510, порошкове фарбування
Живлення	24В/12В (40 занурень- підйомів)

Ліфт-підйомник для інвалідів METALU 3000 Auto (Іспанія) для басейнів (Рис. 1.7) має вантажопідйомність 120 кг і має можливість обертатися [(4)].



Рис. 1.7 Ліфт-підйомник для інвалідів METALU 3000 Auto

					ДІПТ.480000.104.КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Підйомники компанії BraunAbility (Autoadapt) (рис. 1.8) надає можливість людям з особливими потребами робити: поїздки в авто до роботи, похід до супермаркетів, приватні зустрічі з друзями [(5)].

Підйомник вбудовано під підлогою автомобілю повністю автоматичний. При необхідності використання площадка підйомнику виїжджає зі свого транспортного сховища, опускається до рівня в'їзду коляски і розкладає свої два невеличких пандуса. Далі людина на колясці заїжджає на площадку підйомника та фіксує коляску від руху. Площадка підіймається до рівня підлоги салону автомобілю і людина в'їжджає у салон. Складання і хід площадки підйомника у транспортне положення (під підлогу автомобілю) відбувається автоматично після відповідного сигналу на її складання.

В цілому підйомник має високу надійність, безпеку і сучасний дизайн.



Рис. 1.8 Автомобіль з вбудованим підйомником

Для комерційних перевезень використовують ліфт – підйомник (рис. 1.8), що може підіймати вантаж масою 350 кг.

					ДІП.480000.104.КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Рис. 1.9 Ліфт – підйомник для комерційних авто

Гідравлічний автобусний підйомник (рис. 1.10) для людей з обмеженими можливостями [(6)]. Компанія Ricon займається розробкою та виробництвом підйомників та рамп для інвалідних візків для комерційних, шкільних автобусів, транзитних, пасажирських та пасажирських залізничних транспортних засобів. Сьогодні Ricon є потужним виробником продукції для транспорту і є дочірньою компанією Wabtec Corporation і Faiveley Transport, що займаються пасажирськими та вантажними залізничними перевезеннями.

Низька платформа Ricon FoldOver зручна для пасажирів з інвалідними візками, ходунками. Надійна, проста в обслуговуванні має вдалий вузол приводу Ricon, який контролює швидкість платформи під час підйому.

					ДІП.480000.104.КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



Рис. 1.10 Гідравлічний автобусний підйомник

Габаритні характеристики платформи, мм

Глибина	109
Ширина рампи	889
Довжина	1194
Ширина	762
Довжина	1219

Приклади конструктивного виконання автобусних підйомників залежать від рівня підлоги завантаження візка з людиною. Для автобус з низкою підлогою застосовують підйомники (рис. 1.11, рис. 1.12), а якщо підлога на високому рівні тоді – підйомник (рис. 1.13).



Рис. 1.11 Гідравлічний автобусний підйомник



Рис. 1.12 Гідравлічний автобусний підйомник

					ДІП.480000.104.КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рис. 1.13 Гідравлічний автобусний підйомник

					ДІП.480000.104.КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2 КОНСТРУКЦІЯ ПІДЙОМНИКА

Підйомник має простору стрижневу конструкцію. До його складу входять паралелограмний механізм з електроприводом і консоль з коромислом. Паралелограмний механізм підйомника з одної сторони з'єднаний зі стійкою 1 двома циліндричними кінематичними парами, а з другої сторони з'єднаний з консоллю теж двома циліндричними кінематичними парами (рис. 2.1). Тяги 4 і 5 мають закритий профіль – виконані з квадратної у перетині труби, стійки 2 і 6 у перетині мають профіль швелера, консоль 7 і коромисло 8 зроблені зі сталевих труб.

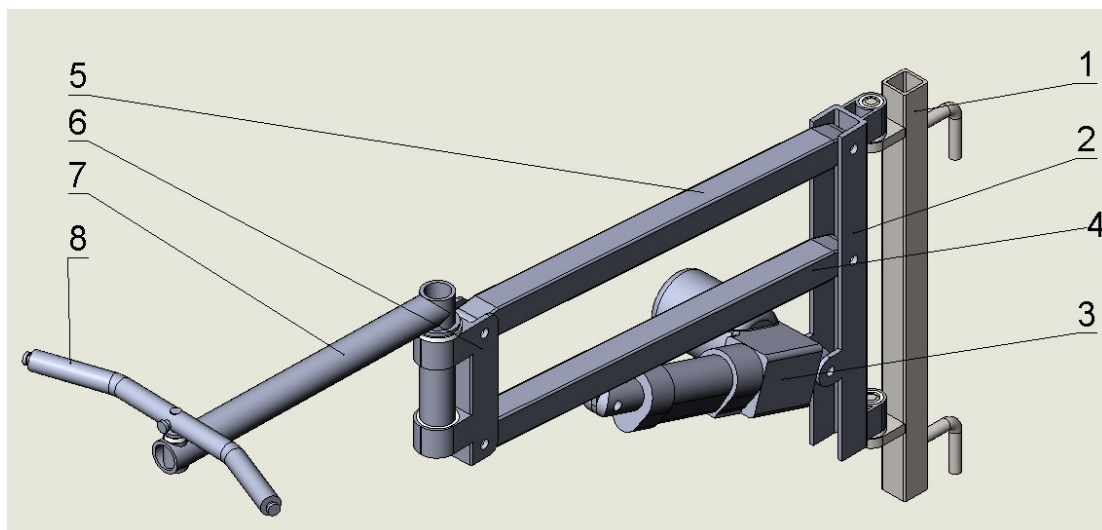


Рис. 2.1 Загальний вид підйомника для людини з інвалідністю:

1 – стійка; 2 – поворотна стойка; 3 – електродвигун-редуктор; 4 – нижня тяга; 5 – верхня тяга; 6 – циліндрична кінематична пара; 7 – консоль; 8 – коромисло.

Працює підйомник наступним чином. Вага людини з інвалідністю через крісло-сідло, що зшите з синтетичного матеріалу, зосереджено прикладається по краях коромисла 8. Далі за допомогою пульта дистанційного керування вмикають електродвигун-редуктор 3, що з'єднаний обертальними кінематичними парами з поворотною стійкою 2 і нижньою тягою 4 паралелограмного механізму. Під час роботи електродвигуна-редуктора відбувається підйом (опускання) людини у кріслі-сідлі.

										Арк.
										19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДІПТ.480000.104.КРПЗ					

2.1 Схема і характеристики підйомника

Загальні характеристики підйомника:

навантаження, Н	1470
виліт, мм	
max	960
min	460
до опор консолі	615
висота підйому, мм	300
кут повороту, град	180
привід	електромеханічний DC-12 V/ AC-220 V
загальна маса, кг	≤ 40
габарити, мм	≤ 1000

За чотирма розрахунковими схемами підйомника (рис. 2.2) були визначені напруження і пружні деформації його деталей від дії статичного навантаження. Результати розрахунків (таблиця 2.1) дали можливість визначити жорсткість конструкції підйомника за формулою

$$C_i = \frac{F}{\delta_i},$$

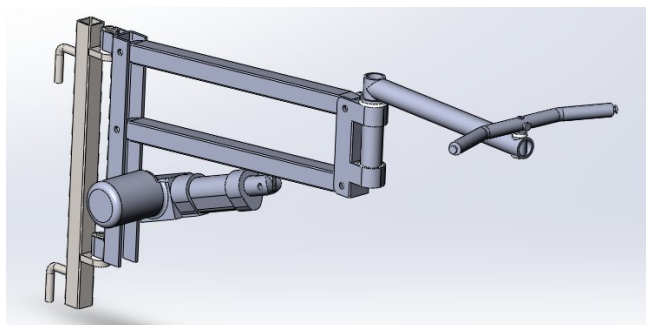
де F – навантаження підйомника; δ – переміщення країв коромисла; i – номер розрахункової схеми.

Таблиця 2.1

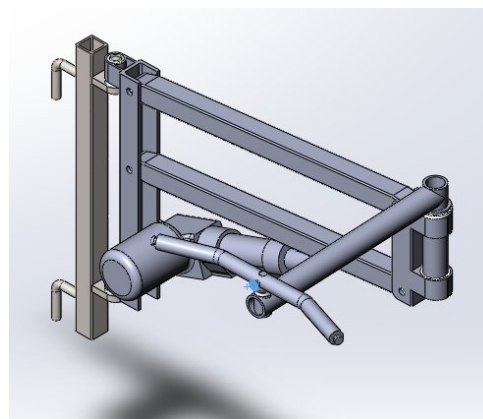
Характеристики підйомника

№ схеми	Напруження МПа	σ_{\max} ,	Переміщення мм	δ_{\max} ,	Жорсткість C , кН/м
I	200		7		210
II	200		18,5		79,5
III	140		7,8		188,5
IV	100		16,5		89,1

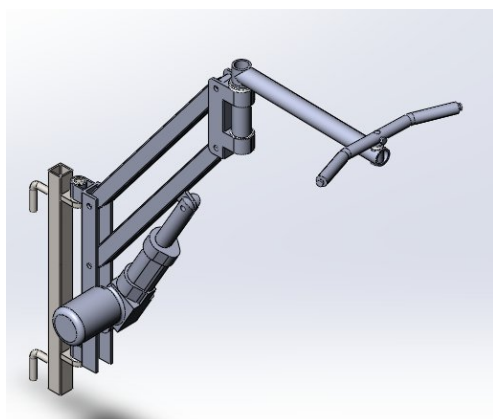
Найбільші значення жорсткості підйомника існує в одній площині паралелограмного механізму та консолі, тобто при I та III схемах навантаження. У випадку, коли паралелограмний механізм та консоль знаходяться у перпендикулярних одна до одної площинках, жорсткості підйомника знижується більше ніж в 2 рази. За напруженнями більше небезпечними для підйомника є його навантаження I та II схемами.



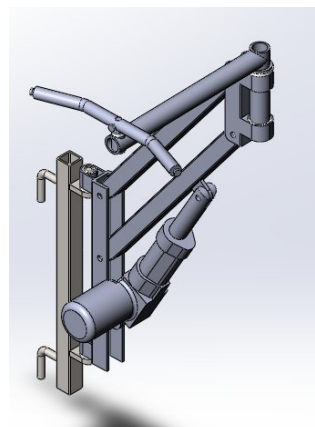
I



II



III



IV

Рис. 2.2 Розрахункові положення підйомника

I – нижнє положення підйомника, консоль на одній осі з паралелограмним механізмом; II – нижнє положення підйомника, консоль перпендикулярна до осі паралелограмного механізму; III – верхнє положення підйомника, консоль на одній осі з паралелограмним механізмом; IV – верхнє положення підйомника, консоль перпендикулярна до осі паралелограмного механізму

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.480000.104.КРПЗ

Арк.

21

3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОЛИВАНЬ ПІДЙОМНИКА

3.1 Розрахункова динамічна схема

У процесі використання підйомника, для всіх варіантів його положень навантаження, відбувається вагою людини m у вертикальній площині, тому можливо розглянути проекції коливань на площину. У першому наближенні, для I і III положень підйомника, маси паралелограмного механізму і консолі не враховуємо. Тому що, паралелограмний механізм має жорстку конструкцію, що приєднана до нерухомої стійки, а консоль має малу масу у порівнянні з масою людини, яка навантажує підйомник. Припускаємо лінійний характер відновлюючих сил конструкції підйомника та наявність конструкційного демпфування коливань з коефіцієнтом β . З урахування прийнятих припущень коливальна система має одну лінійну узагальнену координату q за якою відбувається рух користувача підйомнику масою m (рис. 3.1).

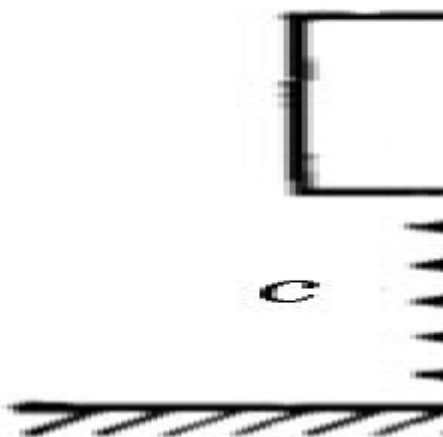


Рис. 3.1 Розрахункова схема

Під час роботи приводу підйомника, система (рис. 3.1) знаходиться під дією ступінчастого зовнішнього збудження (рис. 3.2). F_0 – вага якоїсь речі, що отримана користувачем під час його підйому або зупинки підйому.

					ДІП.480000.104.КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

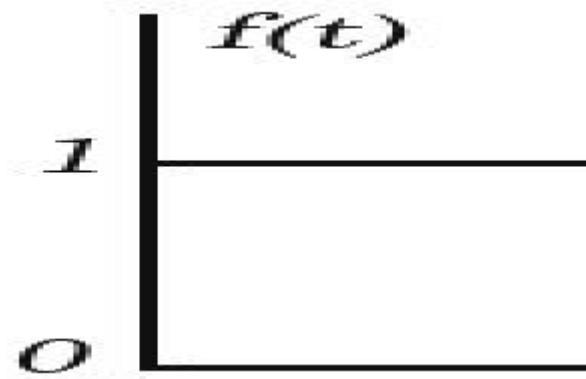


Рис. 3.2 Закон зміни зовнішнього збудження системи

3.2 Математична модель коливань, що не встановилися

Вимушені коливань у системі описуються рівнянням

$$\ddot{q} + 2h\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{F_0 f(t)}{m}$$

де q , \dot{q} , \ddot{q} – узагальнені координати, швидкості та прискорення;

$$h = \frac{b}{2m};$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}} \text{ – власна частота системи;}$$

$F_0 = 100 \text{ Н}$ – розрахункове навантаження;

$m = 150 \text{ кг}$ – розрахункова маса користувача підйомником

$q(0) = q_0$; $\dot{q}(0) = \dot{q}_0$ – початкові умови.

Загальне рішення рівняння представляють у вигляді суми загального розв'язання відповідного однорідного рівняння, що задовольняє початковим умовам та власного рішення

$$q(t) = q_0 e^{-ht} \cos \omega_h t + \frac{h}{\omega_h} \sin \omega_h t + \frac{\dot{q}_0}{\omega_h} e^{-ht} \sin \omega_h t + \frac{1}{m\omega_h} \int_0^t \dot{F}(t) e^{-h(t-t')} \sin \omega_h (t-t') dt'$$

Параметри (власні частоти ω_0 , частоти коливань f та періоди коливань T системи), що входять до рівняння руху системи та її рішення з урахування

										Арк.
										23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДІПТ.480000.104.КРПЗ					

Після перетворення простих дробів, отримаємо $A_1 = \frac{l}{w_0^2}$; $A_2 = -\frac{l}{w_0^2}$;

$A_3 = -\frac{2h}{w_0^2}$; $A_4 = 2hq_0 + \xi_0$; $A_5 = q_0$. Підстановка цих значень в дасть:

$$q_*(p) = \frac{F_0}{m w_0^2} \frac{1}{p} - \frac{p+h}{(p+h)^2 + w_h^2} - \frac{h}{(p+h)^2 + w_h^2} \frac{\dot{u}}{p} +$$

$$+ q_0 \frac{p+h}{(p+h)^2 + w_h^2} + q_0 \frac{h}{(p+h)^2 + w_h^2} + \xi_0 \frac{1}{(p+h)^2 + w_h^2}.$$

Фактичне рішення $q(t)$ після зворотного перетворення Лапласа

$$q(t) = \frac{F_0}{m w_0^2} \frac{1}{e} - e^{-ht} \frac{\xi_0}{e} \cos w_h t + \frac{h}{w_h} \sin w_h t \frac{\dot{u}}{e} +$$

$$+ e^{-ht} \frac{\xi_0 q_0}{e} \cos w_h t + \frac{q_0 h + \xi_0}{w_h} \sin w_h t \frac{\ddot{u}}{e}$$

3.4 Визначення темпу затухання вільних коливань системи

У системі нема спеціальних гасників коливань, але присутнє так зване «конструктивне» в'язке тертя. Коливання у системі затухають з постійною частотою (рис. 3.3). Коефіцієнт зменшення амплітуди коливань у системі за цикл визначається, як e^{-hT} . Незначне тертя майже не впливає на частоту коливань, тому приймаємо, що $T^* = T$. T – це період власних коливань системи без сил тертя.

Приймаємо, у першому наближенні, зменшення амплітуди коливань у системі за цикл 30%. Тоді логарифмічний декремент

$$L = hT = \ln \frac{1}{1 - 0.3} = 0,357.$$

									Арк.
									25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДІП.480000.104.КРПЗ				

4 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ КОЛИВАНЬ ПІДЙОМНИКА

Розробка моделей засобами SIMULINK базується на використанні технології Drag-and-Dmp. Як складових для побудови S-моделі використовуються блоки, що зберігаються в бібліотеці SIMULINK.

SIMULINK привабливий тим, що забезпечує користувачеві доступ до всіх основних можливостей пакета MATLAB та є досить самостійною його компонентою, в тому сенсі, що при роботі з ним необов'язково мати навички у використанні інших інструментів, що входять до складу пакета. Блоки можуть бути скалярними величинами, векторами або матрицями довільної розмірності.

Будь-яка S-модель може мати ієрархічну структуру, тобто складатися з моделей нижчого рівня, причому кількість рівнів ієрархії практично не обмежена. моделювання. У ході моделювання можна спостерігати за процесами, що відбуваються в системі.

4.1 Будова імітаційної моделі

Імітаційна модель коливань підйомника складено відповідно диференційного рівняння руху за допомогою інструментів візуального програмування Simulink математичного пакету Matlab [(10), (11)].

До складу імітаційної моделі увійшли блоки: Integrator, Second-Order з бібліотеки Continuous; Product, Gain, Math Function з бібліотеки Math Operation; Constant з бібліотеки Sources; Scope з бібліотеки Sinks.

Початкові умови диференційного рівняння руху: $q_0 = 0$; $\dot{q}_0 = 0$.
Моделювання коливань системи проходило у продовж 2 секунд. Візуалізація результатів моделювання забезпечено блоками Scope з бібліотеки Sinks. Ці блоки забезпечують демонстрації зміни переміщень, швидкостей та прискорень у системі.

										Арк.
										27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДІПТ.480000.104.КРПЗ					

Блок *Scope1 d2q/dt2* відображає зміну амплітуди швидкості (рис. 4.6) маси m у часі, а статистичні оцінки моделювання швидкості у «вікні» (рис. 4.7).

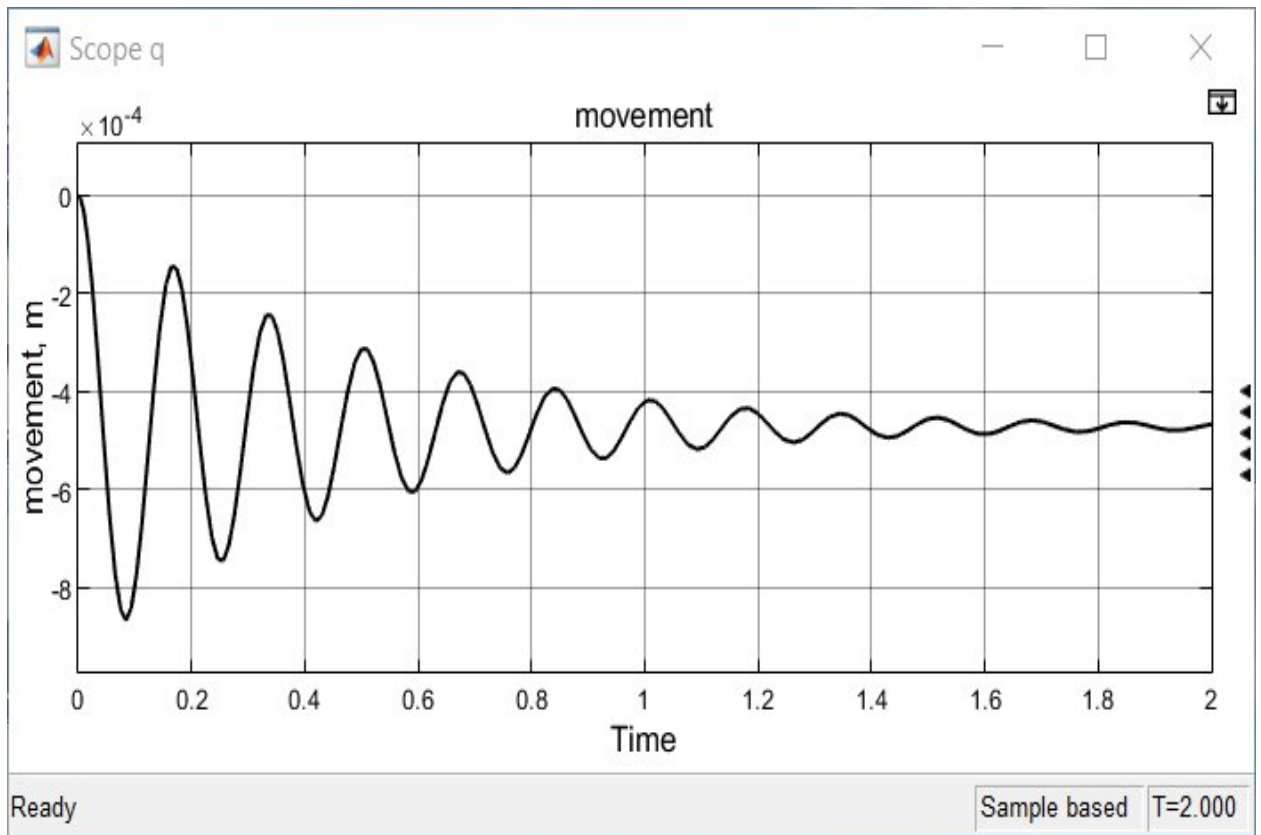


Рис. 4.2 Амплітуди коливань маси m у часі

Signal Statistics		
	Value	Time
Max	0.000e+00	0.000e+00
Min	-8.663e-04	0.085
Peak to Peak	8.663e-04	
Mean	-4.589e-04	
Median	-4.702e-04	
RMS	4.835e-04	

Рис. 4.3 Статистичні оцінки моделювання коливань

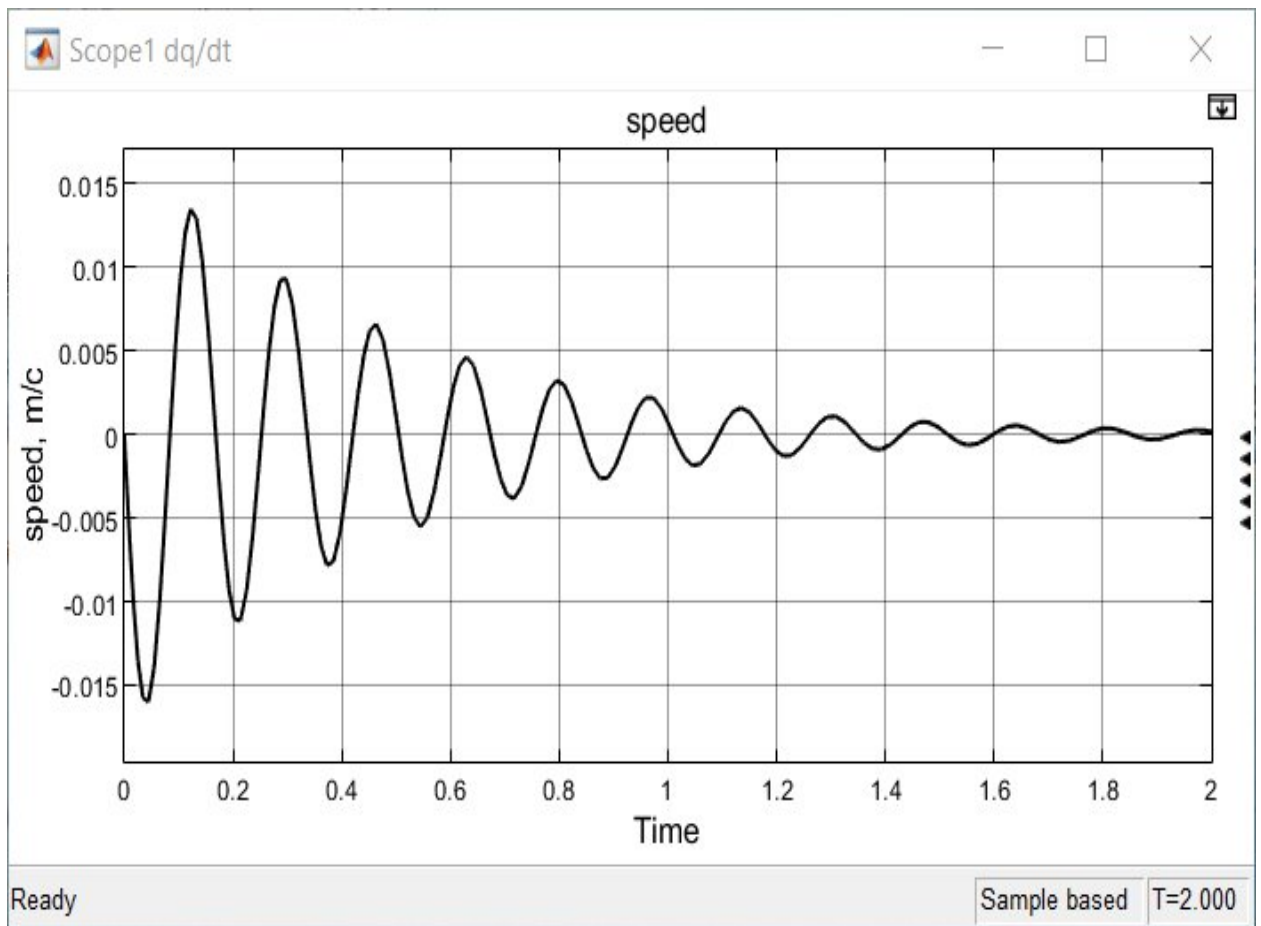


Рис. 4.4 Амплітуди швидкості маси m у часі

	Value	Time
Max	1.347e-02	0.122
Min	-1.600e-02	0.045
Peak to Peak	2.947e-02	
Mean	-3.628e-04	
Median	-5.570e-05	
RMS	4.843e-03	

Рис. 4.5 Статистичні оцінки моделювання швидкості

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

При початкових умовах диференційного рівняння руху, які можуть виникнути під час наїзду підйомника на якусь нерівність шляху: $q_0 = 0$; $\dot{q}_0 = -0,04$. Моделювання коливань системи було виконане у продовж 2 секунд (рис. 4.8 – рис. 4.13).

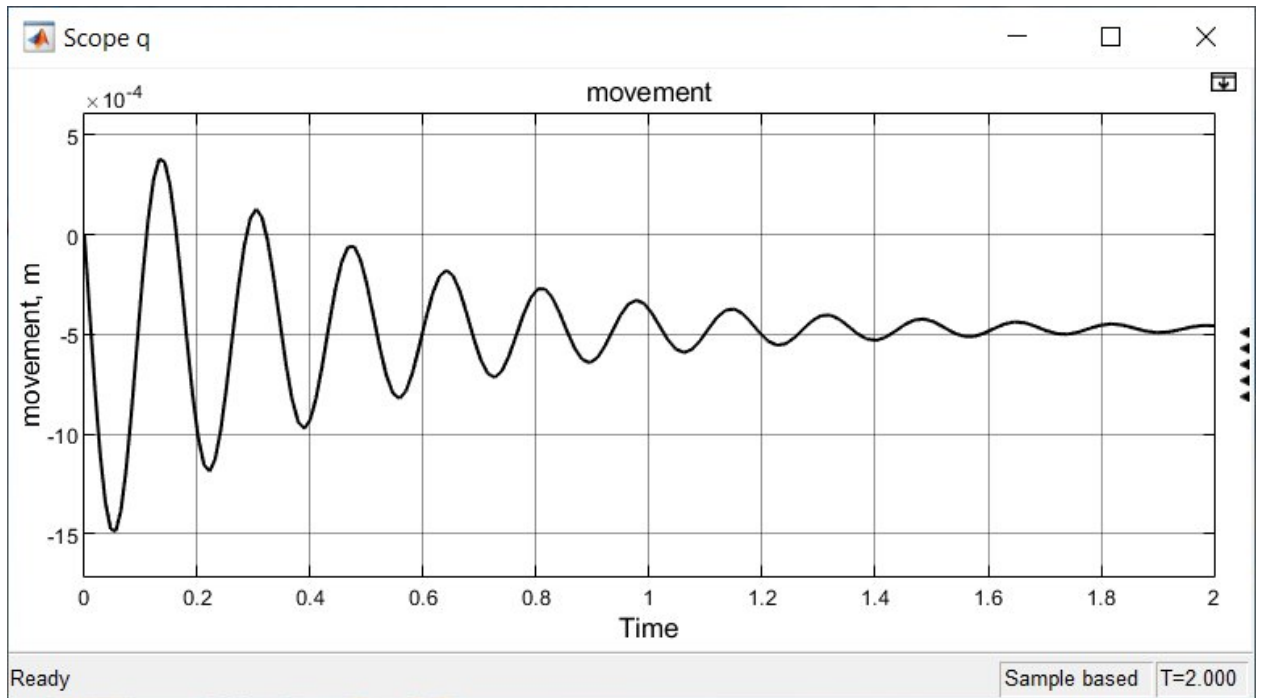


Рис. 4.8 Амплітуди коливань маси m у часі

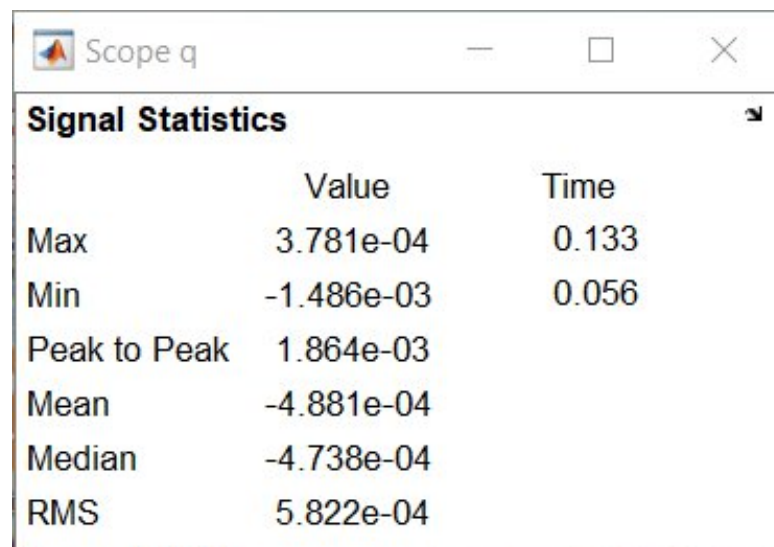


Рис. 4.9 Статистичні оцінки моделювання коливань

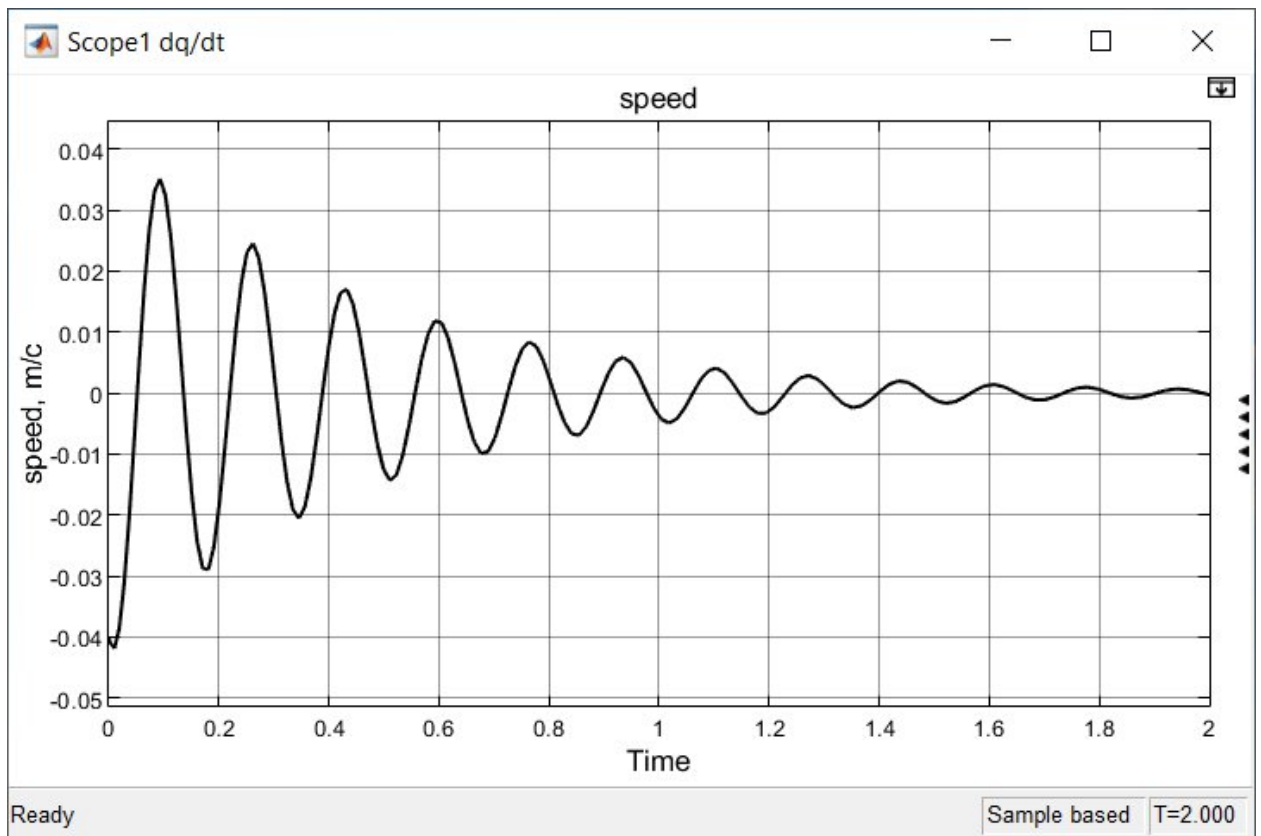


Рис. 4.10 Амплітуди швидкості коливань маси m у часі

Scope1 dq/dt

Signal Statistics

	Value	Time
Max	3.514e-02	0.093
Min	-4.188e-02	0.011
Peak to Peak	7.702e-02	
Mean	-7.608e-04	
Median	8.383e-05	
RMS	1.281e-02	

Рис. 4.11 Статистичні оцінки швидкості коливань

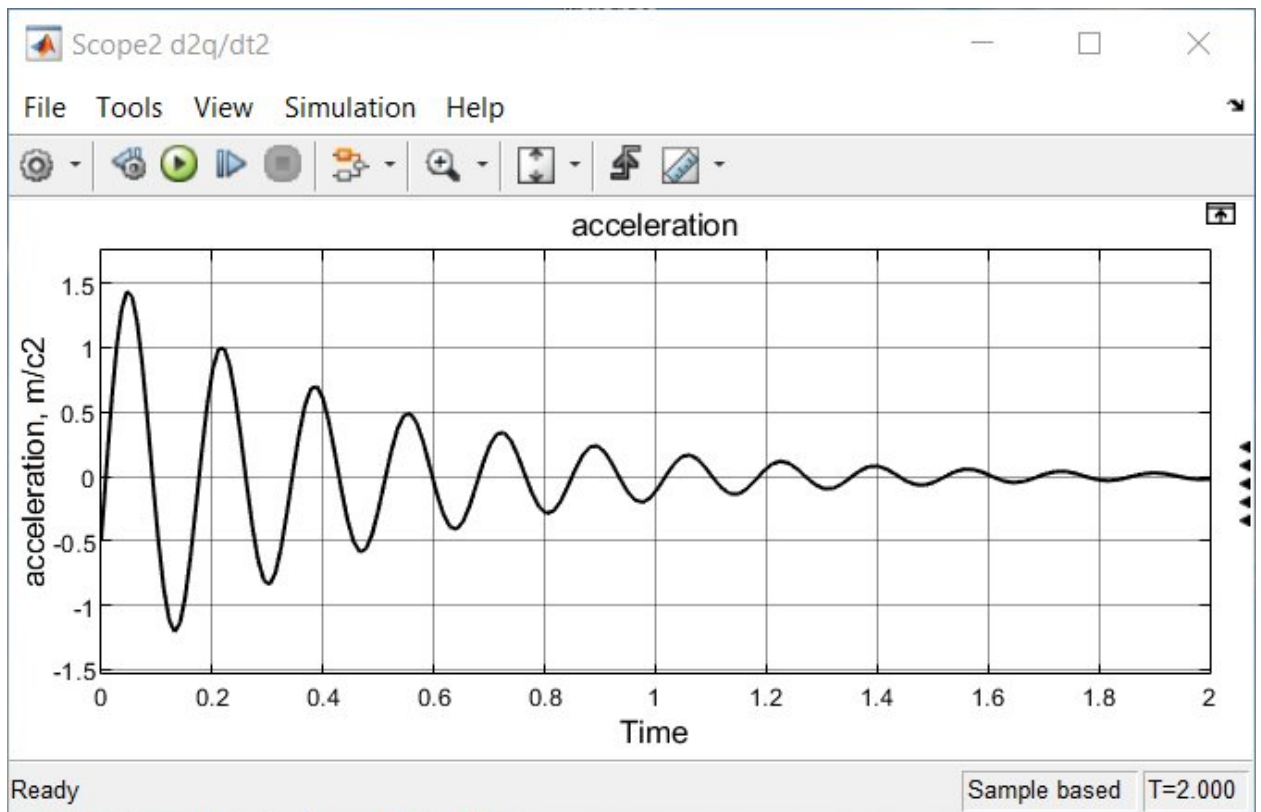


Рис. 4.12 Амплітуди прискорень коливань маси m у часі

	Value	Time
Max	1.437e+00	0.047
Min	-1.206e+00	0.133
Peak to Peak	2.644e+00	
Mean	2.593e-02	
Median	-3.594e-03	
RMS	4.444e-01	

Рис. 4.13 Статистичні оцінки прискорень коливань

4.3 Коливання системи за схемою навантаження II

Моделювання коливань за схемою навантаження II системи було виконане у продовж 2 секунд (рис. 4.14 – рис. 4.19).

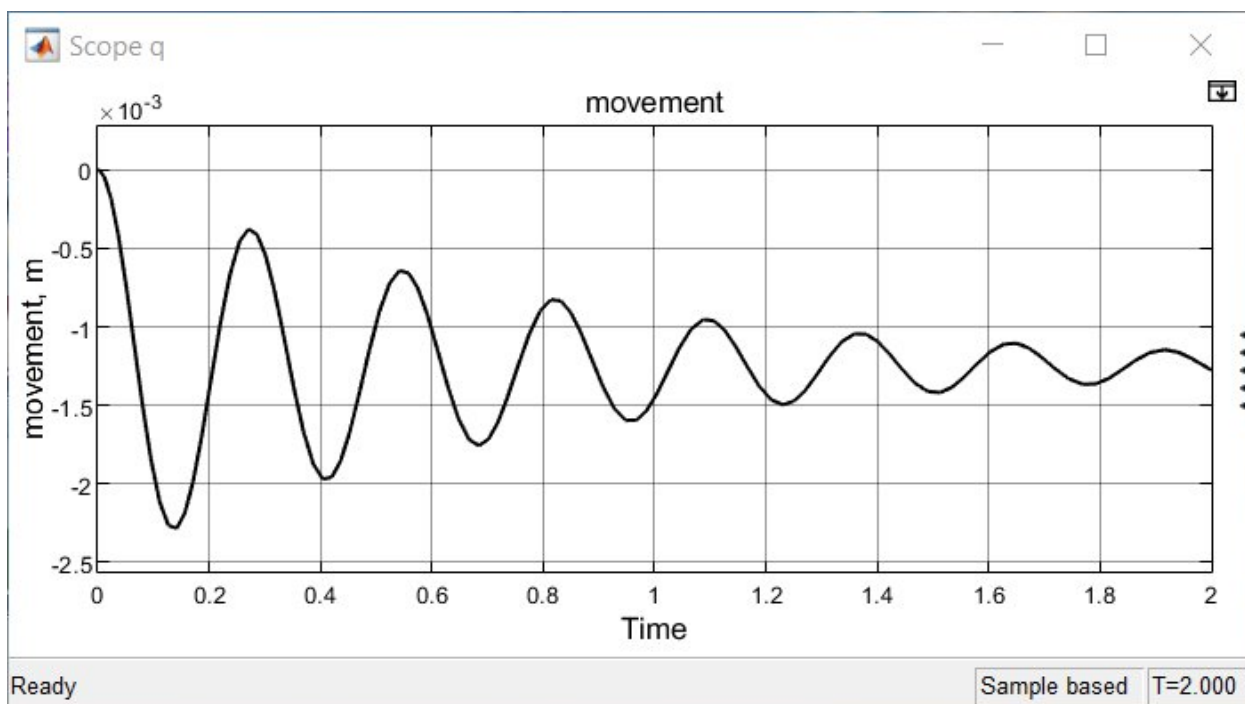


Рис. 4.14 Амплітуди коливань маси m у часі за II схемою навантаження

Scope q

Signal Statistics

	Value	Time
Max	0.000e+00	0.000e+00
Min	-2.283e-03	0.142
Peak to Peak	2.283e-03	
Mean	-1.197e-03	
Median	-1.228e-03	
RMS	1.287e-03	

Рис. 4.15 Статистичні оцінки моделювання коливань за II схемою навантаження

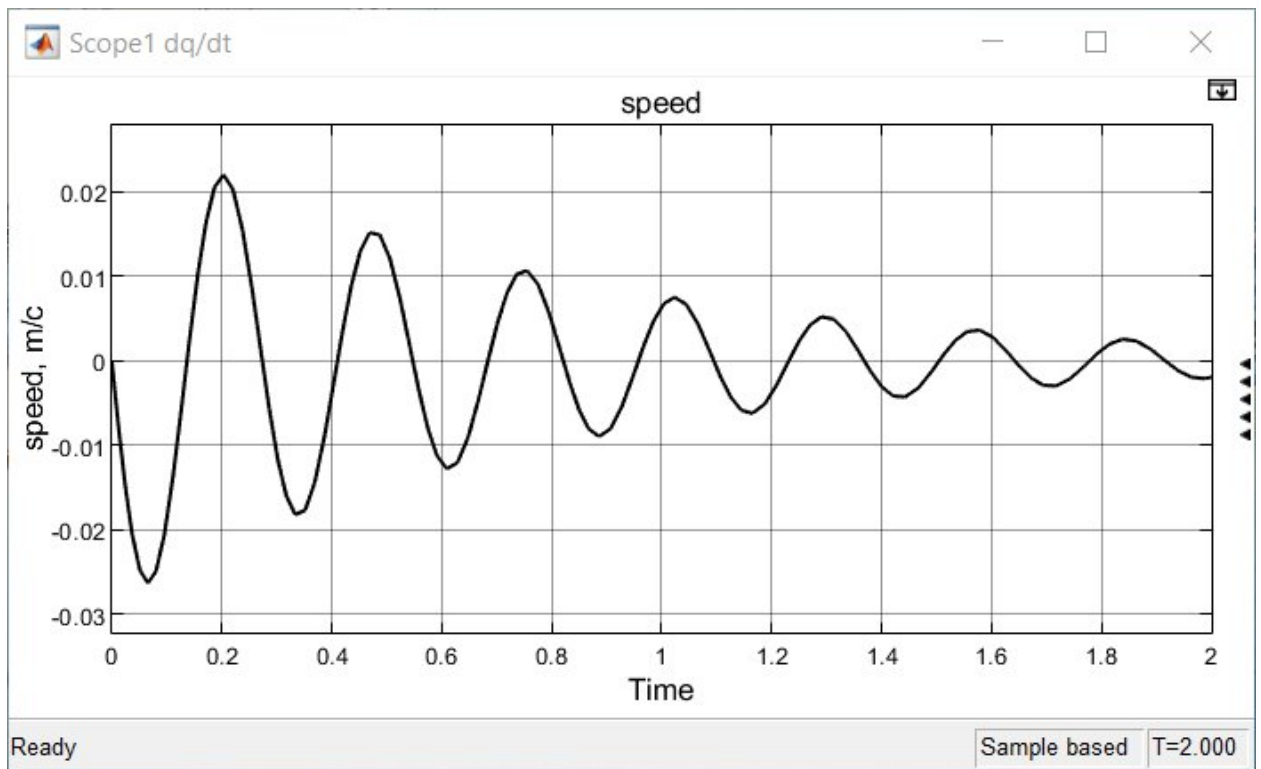


Рис. 4.16 Амплітуди швидкості коливань маси m у часі за II схемою навантаження

Scope1 dq/dt

Signal Statistics

	Value	Time
Max	2.200e-02	0.203
Min	-2.632e-02	0.066
Peak to Peak	4.832e-02	
Mean	-9.243e-04	
Median	-5.575e-04	
RMS	9.348e-03	

Рис. 4.17 Статистичні оцінки моделювання швидкості коливань за II схемою навантаження

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

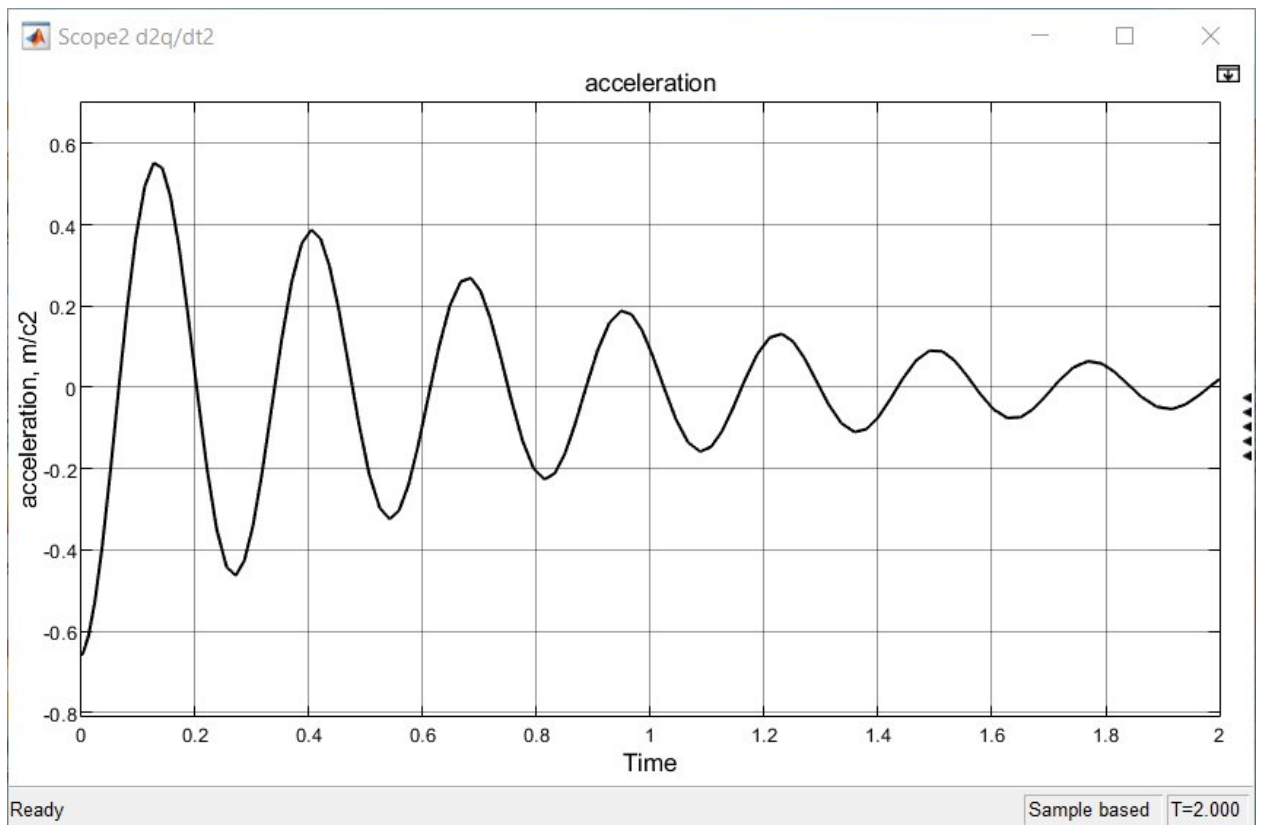


Рис. 4.18 Амплітуди прискорень коливань маси m у часі за II схемою навантаження

	Value	Time
Max	5.521e-01	0.127
Min	-6.600e-01	0.000e+00
Peak to Peak	1.212e+00	
Mean	-2.451e-02	
Median	-9.764e-03	
RMS	2.501e-01	

Рис. 4.19 Статистичні оцінки моделювання прискорень коливань за II схемою навантаження

При початкових умовах диференційного рівняння руху, які можуть виникнути під час наїзду підйомника на якусь нерівність шляху:

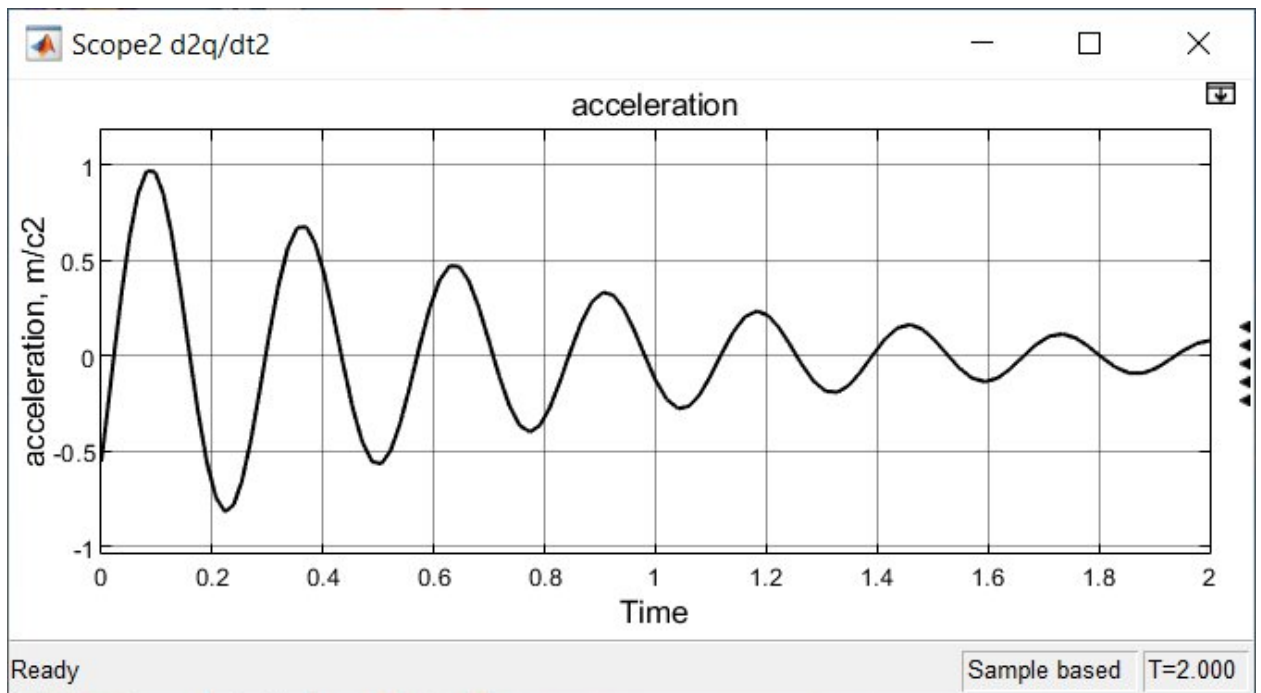


Рис. 4.24 Амплітуди прискорення коливань маси m у часі за II схемою навантаження

Scope2 d2q/dt2

Signal Statistics

	Value	Time
Max	9.680e-01	0.082
Min	-8.181e-01	0.223
Peak to Peak	1.786e+00	
Mean	1.772e-02	
Median	1.228e-02	
RMS	3.618e-01	

Рис. 4.25 Статистичні оцінки моделювання прискорення коливань за II схемою навантаження

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4.4 Коливання системи за схемою навантаження III

Моделювання коливань системи при початкових умовах $q_0 = 0; \dot{q}_0 = 0$

(рис. 4.26 – рис. 4.31).

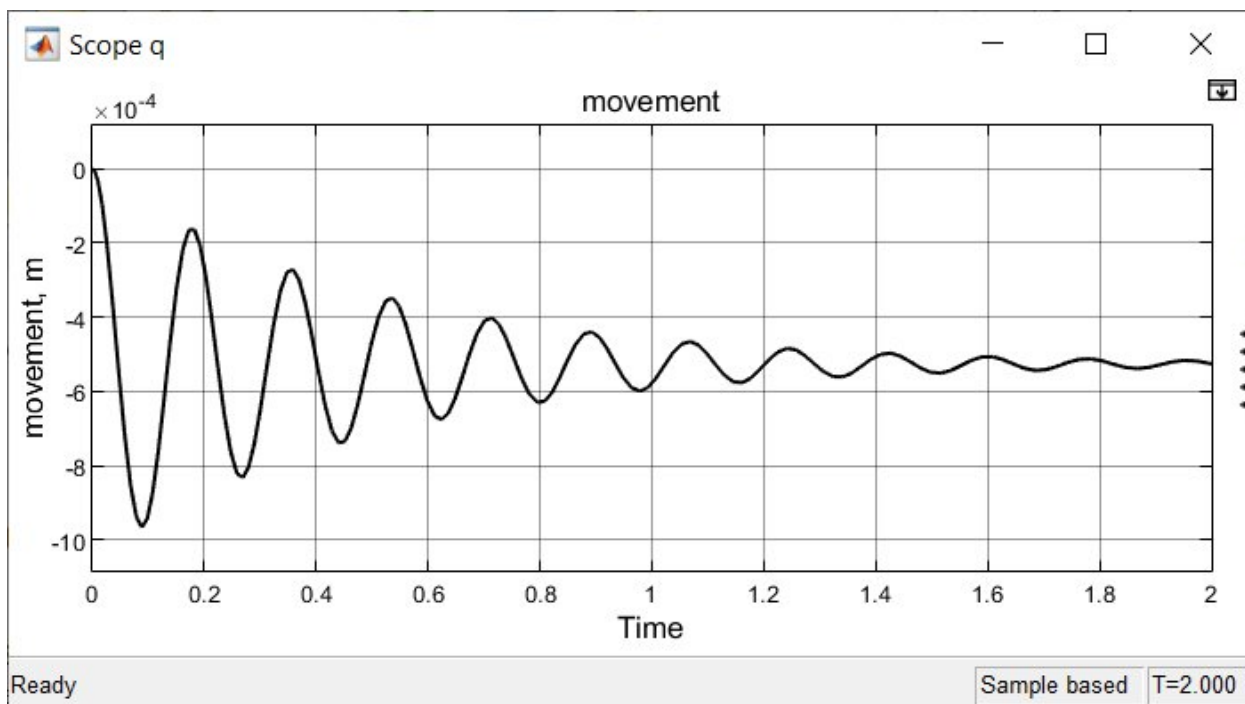


Рис. 4.26 Амплітуди коливань маси m у часі за III схемою навантаження

Signal Statistics	Value	Time
Max	0.000e+00	0.000e+00
Min	-9.668e-04	0.089
Peak to Peak	9.668e-04	
Mean	-5.117e-04	
Median	-5.245e-04	
RMS	5.399e-04	

Рис. 4.27 Статистичні оцінки моделювання коливань за III схемою навантаження

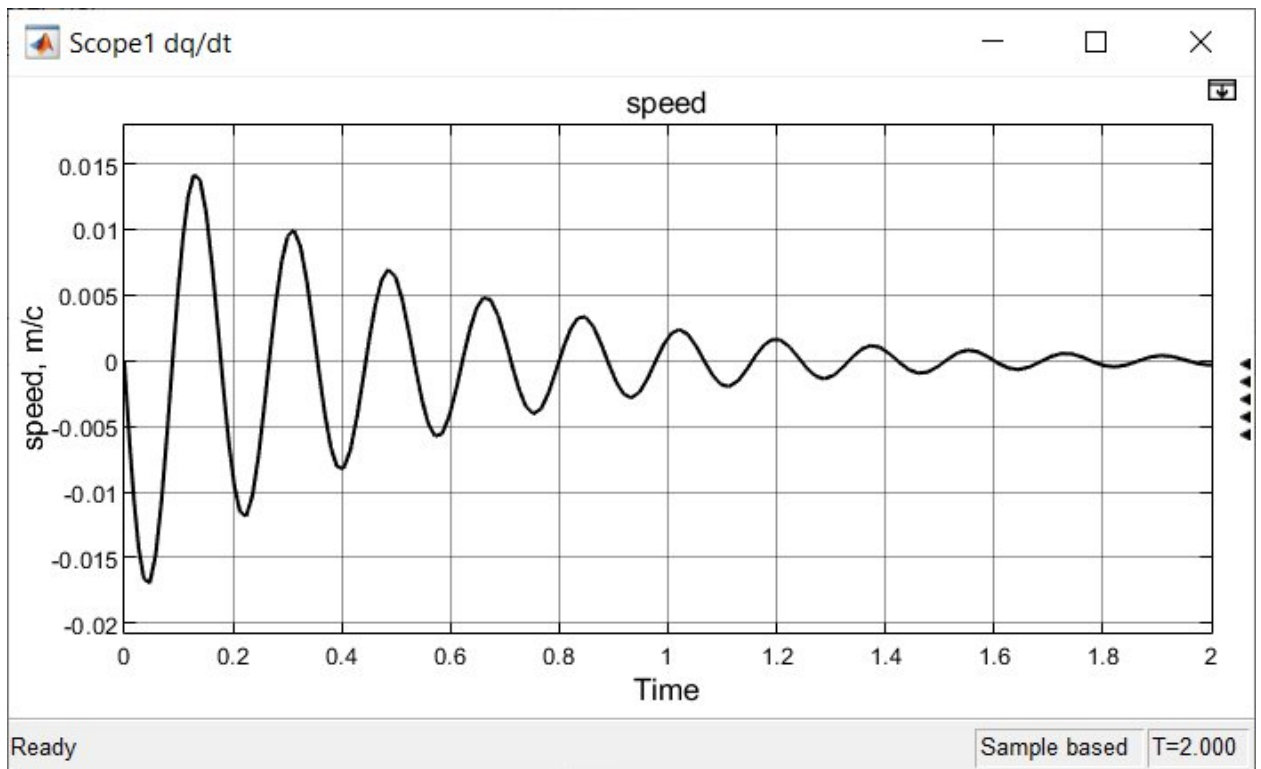


Рис. 4.28 Амплітуди швидкості коливань маси m у часі за III схемою навантаження

	Value	Time
Max	1.416e-02	0.128
Min	-1.694e-02	0.047
Peak to Peak	3.110e-02	
Mean	-4.018e-04	
Median	-1.378e-04	
RMS	5.198e-03	

Рис. 4.29 Статистичні оцінки моделювання швидкості за III схемою навантаження

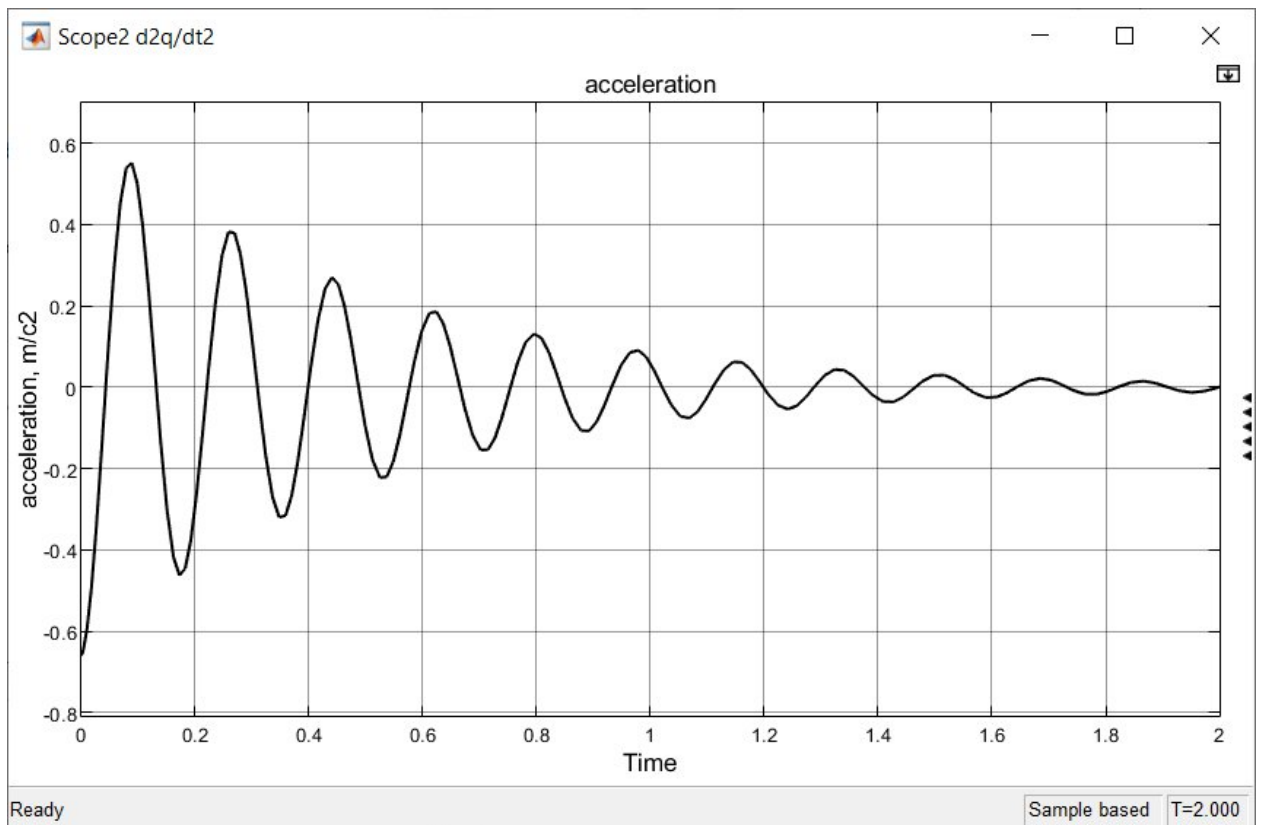


Рис. 4.30 Амплітуди прискорень коливань маси m у часі за III схемою навантаження

	Value	Time
Max	5.518e-01	0.089
Min	-6.600e-01	0.000e+00
Peak to Peak	1.212e+00	
Mean	-1.717e-02	
Median	2.410e-04	
RMS	2.146e-01	

Рис. 4.31 Статистичні оцінки моделювання прискорень за III схемою навантаження

При початкових умовах диференційного рівняння руху, які можуть виникнути під час наїзду підйомника на якусь нерівність шляху:

$q_0 = 0; \dot{q}_0 = -0,04$. Моделювання коливань системи було виконане у продовж 2 секунд (рис. 4.32 – рис. 4.37).

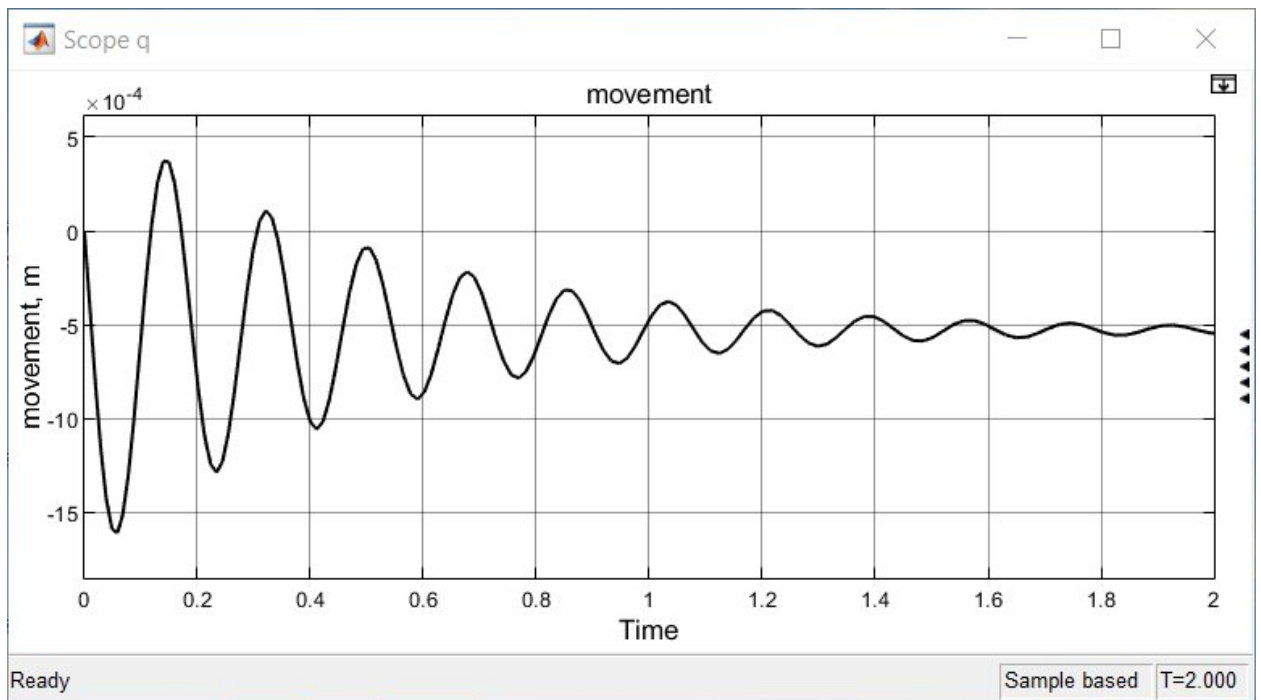


Рис. 4.32 Амплітуди коливань маси m у часі за III схемою навантаження

Signal Statistics		
	Value	Time
Max	3.724e-04	0.140
Min	-1.610e-03	0.058
Peak to Peak	1.983e-03	
Mean	-5.442e-04	
Median	-5.263e-04	
RMS	6.433e-04	

Рис. 4.33 Статистичні оцінки моделювання коливань за III схемою навантаження

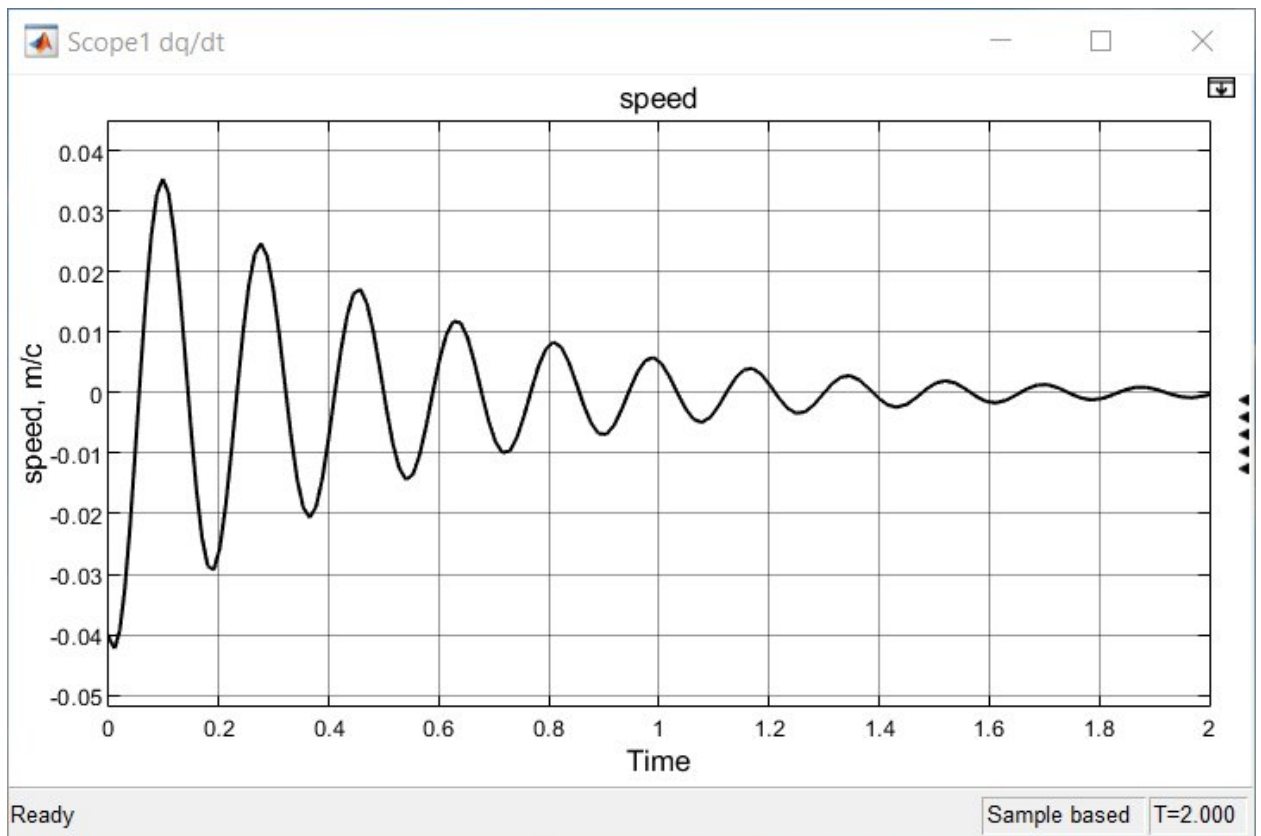


Рис. 4.34 Амплітуди швидкості коливань маси m у часі за III схемою навантаження

Scope1 dq/dt

Signal Statistics

	Value	Time
Max	3.539e-02	0.098
Min	-4.227e-02	0.011
Peak to Peak	7.766e-02	
Mean	-8.315e-04	
Median	-1.597e-04	
RMS	1.314e-02	

Рис. 4.35 Статистичні оцінки моделювання швидкості коливань за III схемою навантаження

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

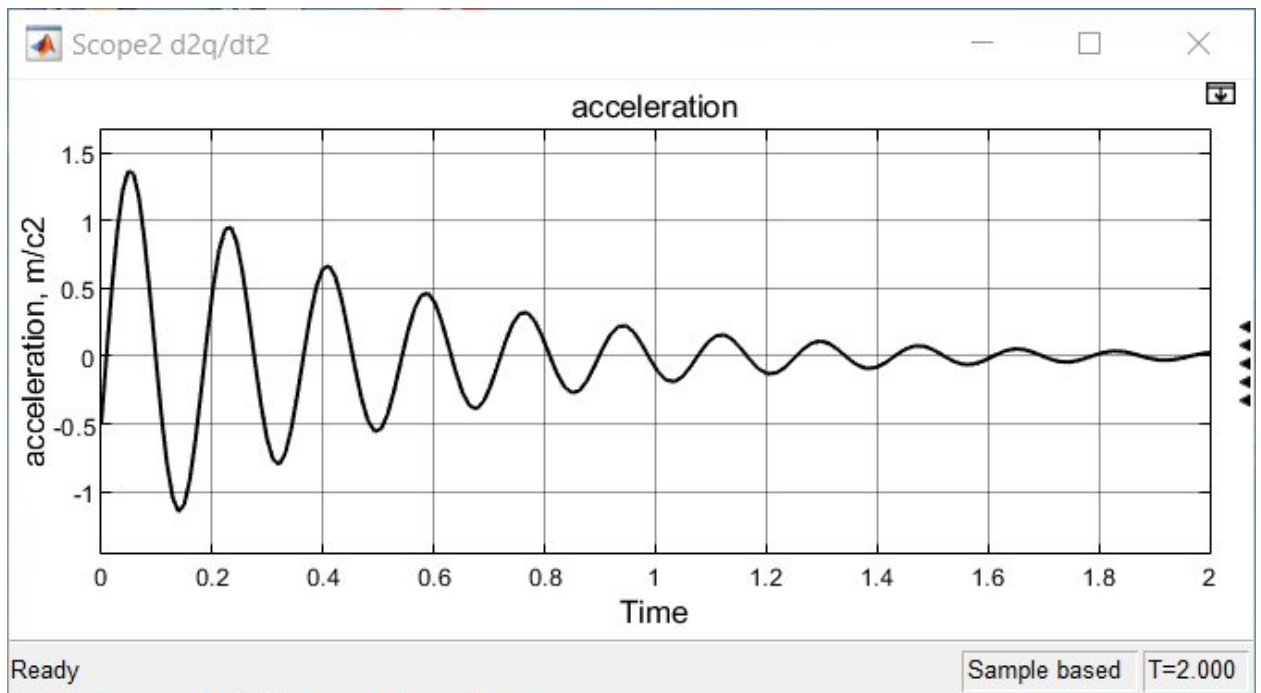


Рис. 4.36 Амплітуди прискорення коливань маси m у часі за III схемою навантаження

	Value	Time
Max	1.365e+00	0.049
Min	-1.148e+00	0.140
Peak to Peak	2.512e+00	
Mean	2.530e-02	
Median	4.163e-03	
RMS	4.303e-01	

Рис. 4.37 Статистичні оцінки моделювання прискорення коливань за III схемою навантаження

4.5 Коливання системи за схемою навантаження IV

Результати моделювання олівання системи за схемою навантаження IV при початкових умовах $q_0 = 0$; $\dot{q}_0 = 0$ (рис. 4.38 – рис. 4.40).

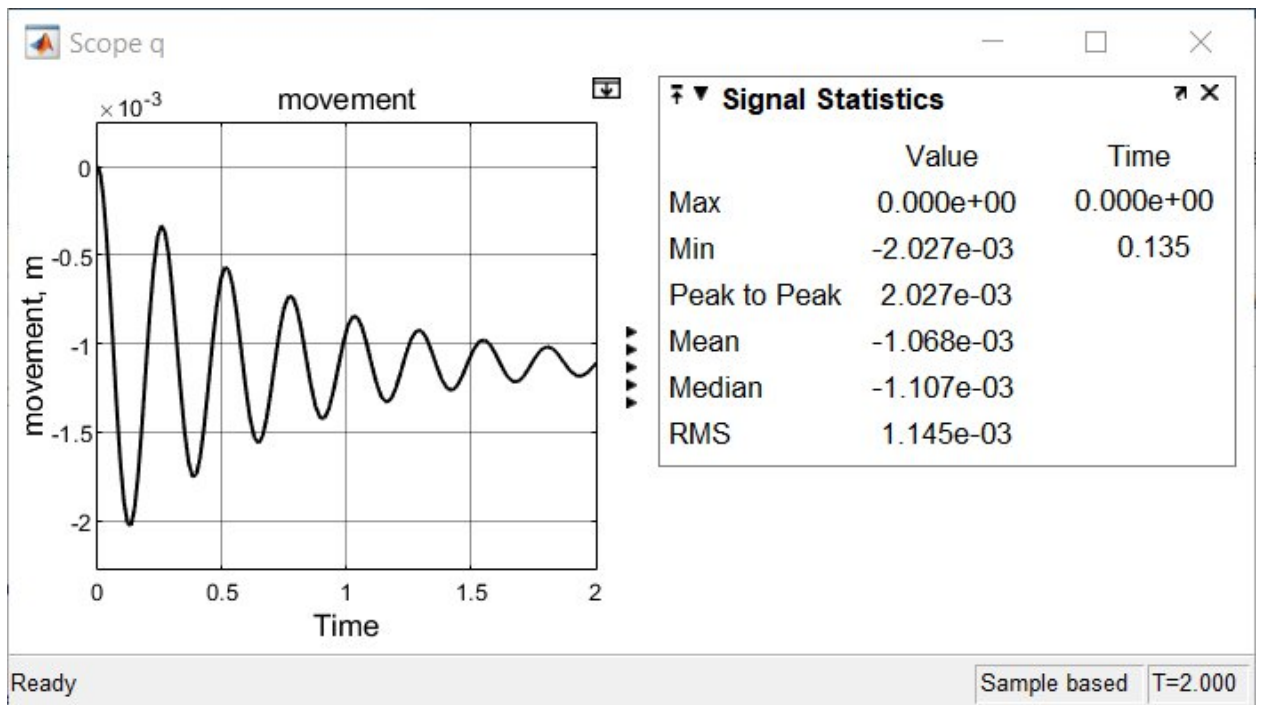


Рис. 4.38 Амплітуди коливань маси m у часі за IV схемою навантаження

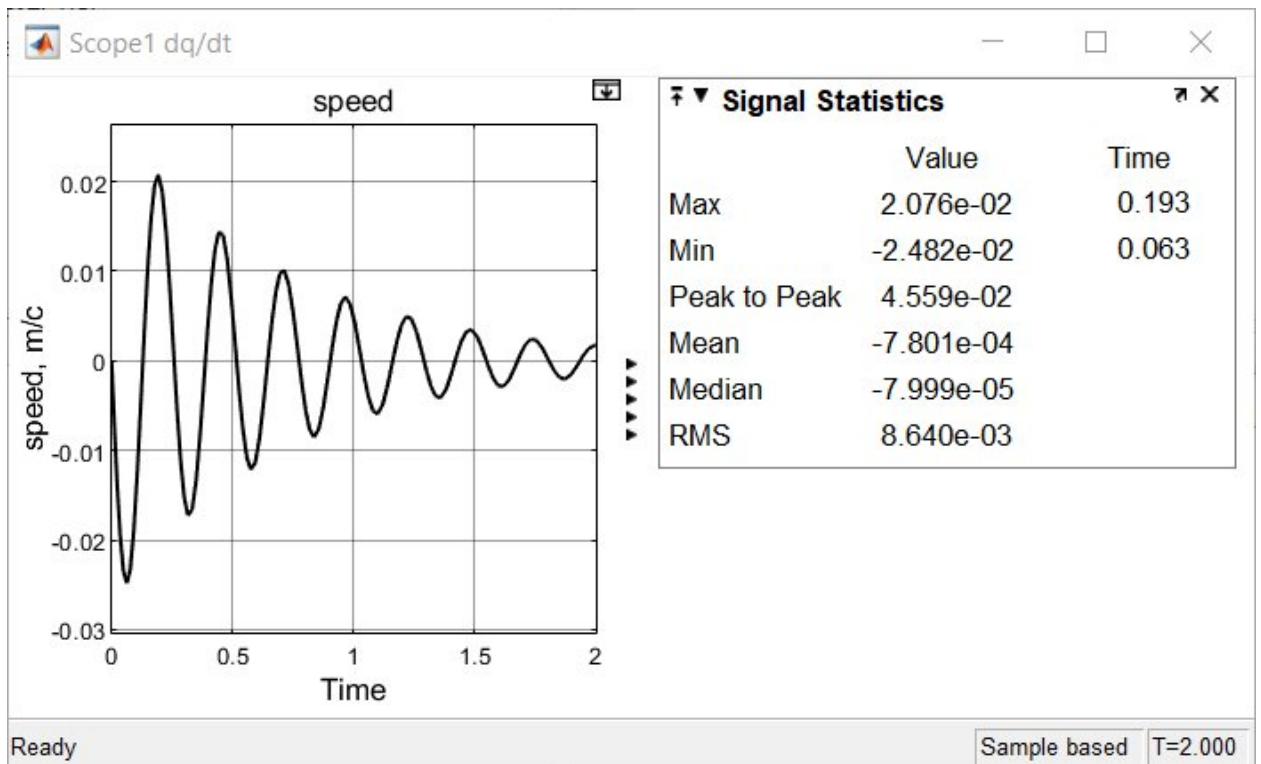


Рис. 4.39 Амплітуди швидкості коливань маси m у часі за IV схемою навантаження

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

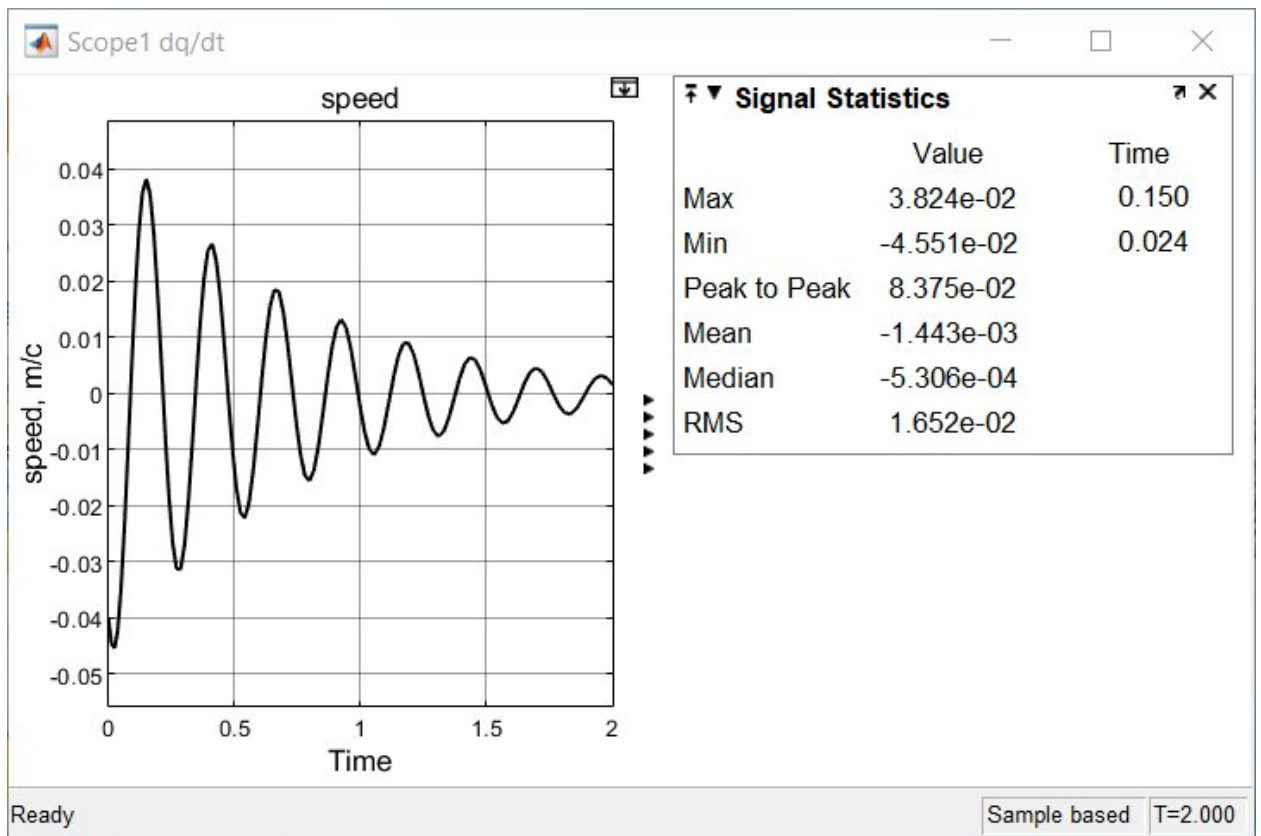


Рис. 4.42 Амплітуди швидкості коливань маси m у часі за IV схемою навантаження

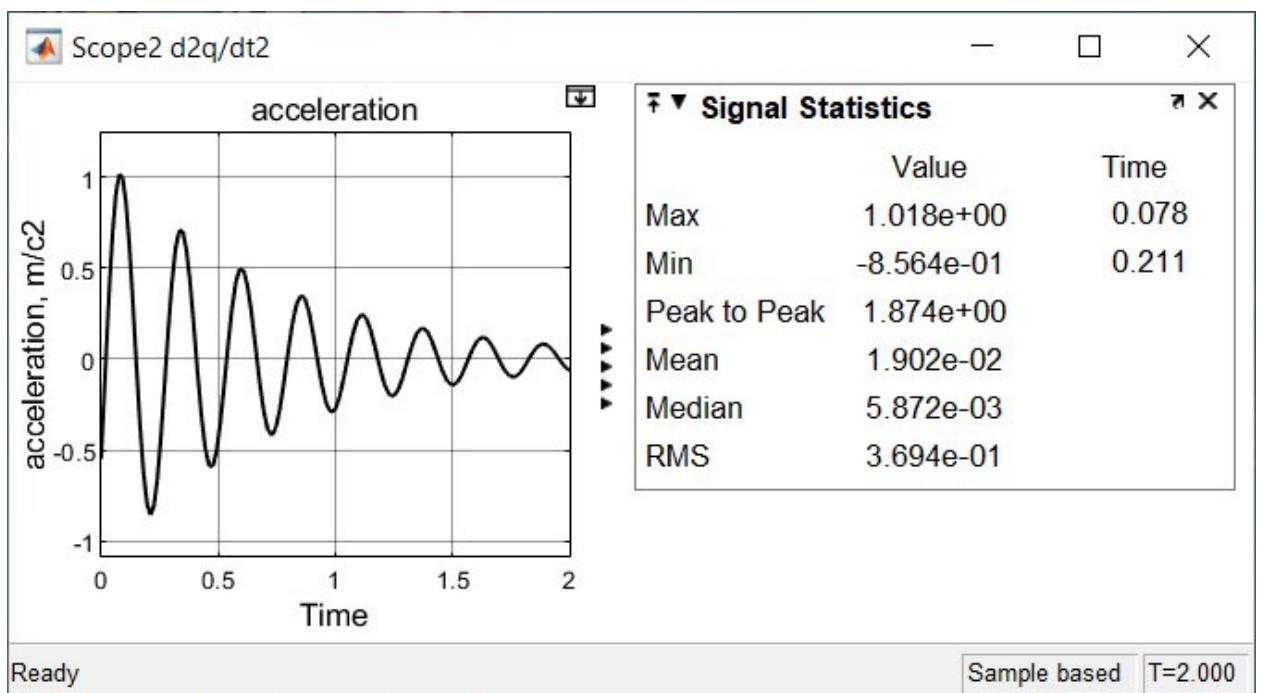


Рис. 4.43 Амплітуди прискорення коливань маси m у часі за IV схемою навантаження

5 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ ПІДЙОМНИКА

5.1 Коливання системи під час навантаження

Найбільші амплітуди переміщень (movement) відбуваються при навантаженні підйомника за II і IV схемами (таблиця 5.1). За I і III схемами навантаження амплітуди переміщень приблизно в 2 рази менше порівняно навантаженням за II і IV схемами. Це пояснюється значною зміною жорсткості системи при зміні положення консолі підйомника. Максимальна різниця швидкостей (speed) достатньо значна – складає 0,01 м/с або 38,5 % швидкостей за II схемою навантаження. Амплітуди прискорень (acceleration) першого періоду коливань за всіма схемами навантаження однакові і складають 6,7% від прискорення вільного падіння.

Аналіз розрахунків несталих коливань свідчить о необхідності додати до статичних навантажень, що діють на підйомника, ще динамічні сили.

Таблиця 5.1

Кінематичні характеристики коливальної системи

№ схеми	I	II	III	IV
Параметр				
Movement, mm	0,87	2,3	1	2
Speed, m/s	0,016	0,026	0,017	0,025
Acceleration, m/s ²	0,66	0,66	0,66	0,66

5.2 Динамічні сили, що діють на систему

Динамічні сили F_i , які виникають під час роботи підйомника розраховано за формулою

$$F_i = C_i q_i,$$

де C – жорсткість конструкції підйомника; q – максимальне значення амплітуди переміщень у системі; i – номер розрахункової схеми.

Виконані розрахунки свідчать, що від дії на систему вимушеної ступінчастої сили $F_0 = 100$ Н до статичного навантаження додається динамічна сила, яка в залежності від схеми навантаження складає 0,18...0,19 кН (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2

Розрахункові силові характеристики підйомника

Параметр	№ схеми			
	I	II	III	IV
Movement ($q_0 = 0; \xi_0 = 0.$), mm	0,87	2,3	1	2
Movement ($q_0 = 0; \xi_0 = - 0,04$), mm	1,5	3,1	1,6	2,8
Жорсткість C , кН/м	210	79,5	188,5	89,1
Динамічна сила F_i ($q_0 = 0; \xi_0 = 0.$), кН	0,18	0,18	0,19	0,18
Динамічна сила F_i ($q_0 = 0; \xi_0 = - 0,04$), кН	0,32	0,25	0,30	0,25
Статичне навантаження Q , кН	1,47			
Напруження статичне σ_{\max} , МПа	200	200	140	100
Напруження σ_{\max} ($q_0 = 0; \xi_0 = 0.$), МПа	224	224	158	112
Напруження σ_{\max} ($q_0 = 0; \xi_0 = - 0,04$), МПа	248	234	168	117

Для прийнятих початкових умов $q_0 = 0; \xi_0 = 0$ ступеневе навантаження системи силою 100 Н збільшує напруження у ланках підйомника на $\approx 12\%$. При цьому сумарні максимальні напруження не перевищують дозволених меж напружень.

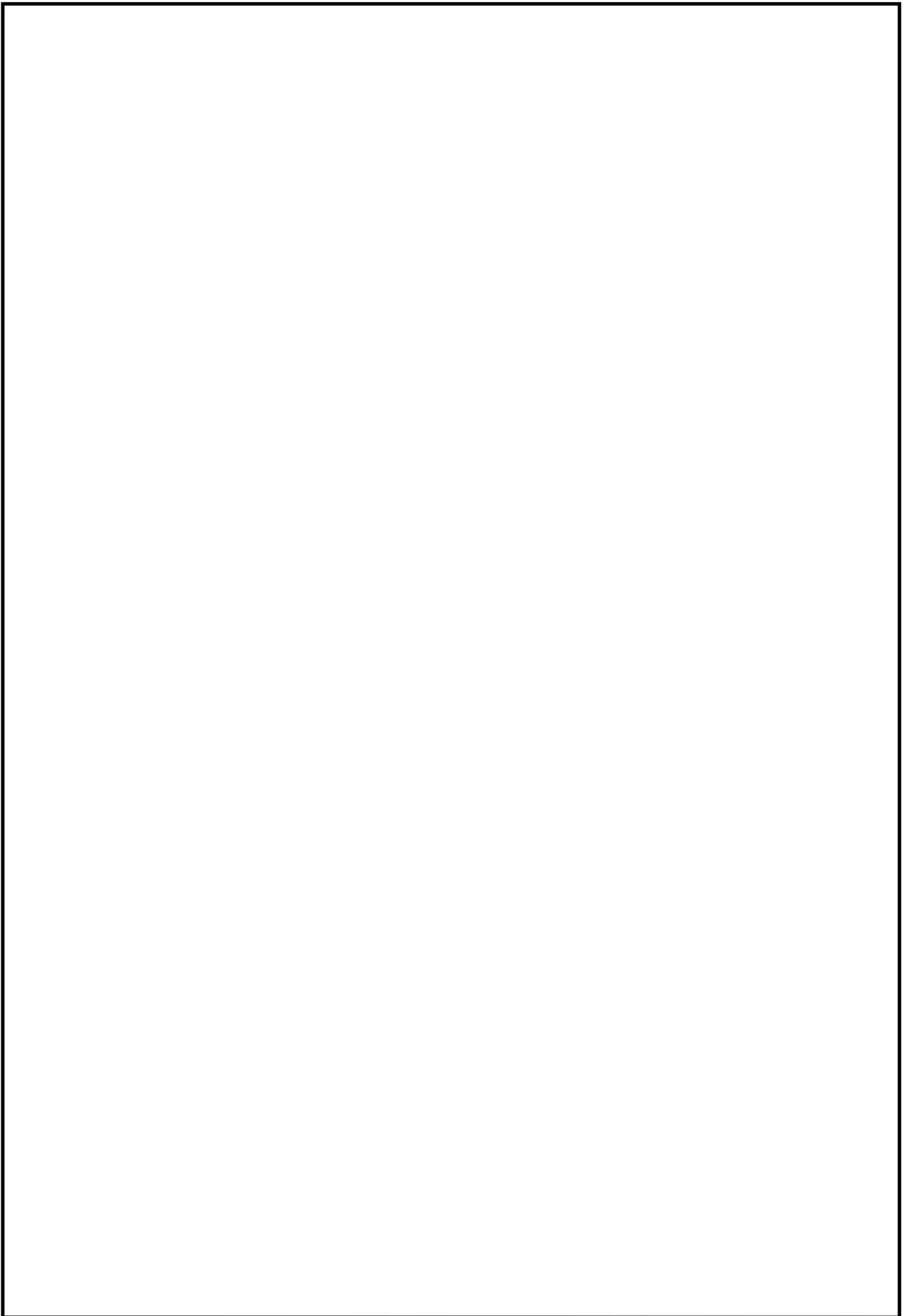
При наїзді підйомника на нерівність, що відповідають початковим умовам $q_0 = 0$; $\phi_0 = -0,04$ і ступеневому навантаженні системи силою 100 Н збільшує напруження у ланках підйомника на 12...24%. В такому випадку навантаження сумарні максимальні напруження перевищують дозволені меж напружень. З урахуванням отриманих результатів, доцільно дозволене навантаження підйомника знизити з 150 кг до 130 кг.

					ДІП.480000.104.КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

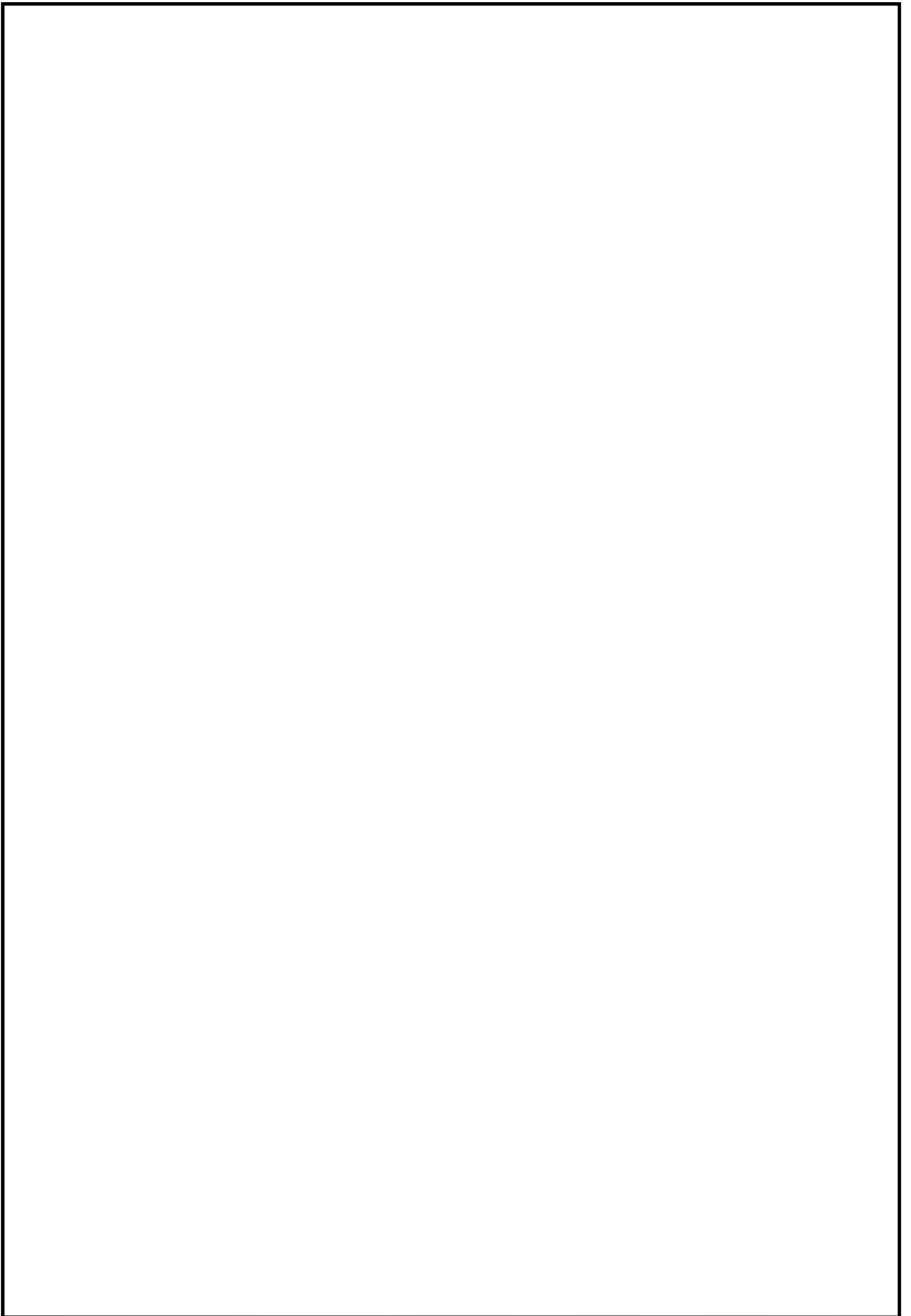
10. Забара, С.С. Моделювання систем у середовищі MATLAB/ С.С. Забара, О.О. Гагарін, І.М. Кузьменко, Ю. Д. Щербашин. К. : Видання "Україна", 2011. – 137 с.

11. Лазарев, Ю.Ф. Довідник з MATLAB. Електронний навчальний посібник з курсового проєктування / Ю.Ф. Лазарев. К. : НТУУ "КПІ", 2013. – 132 с.

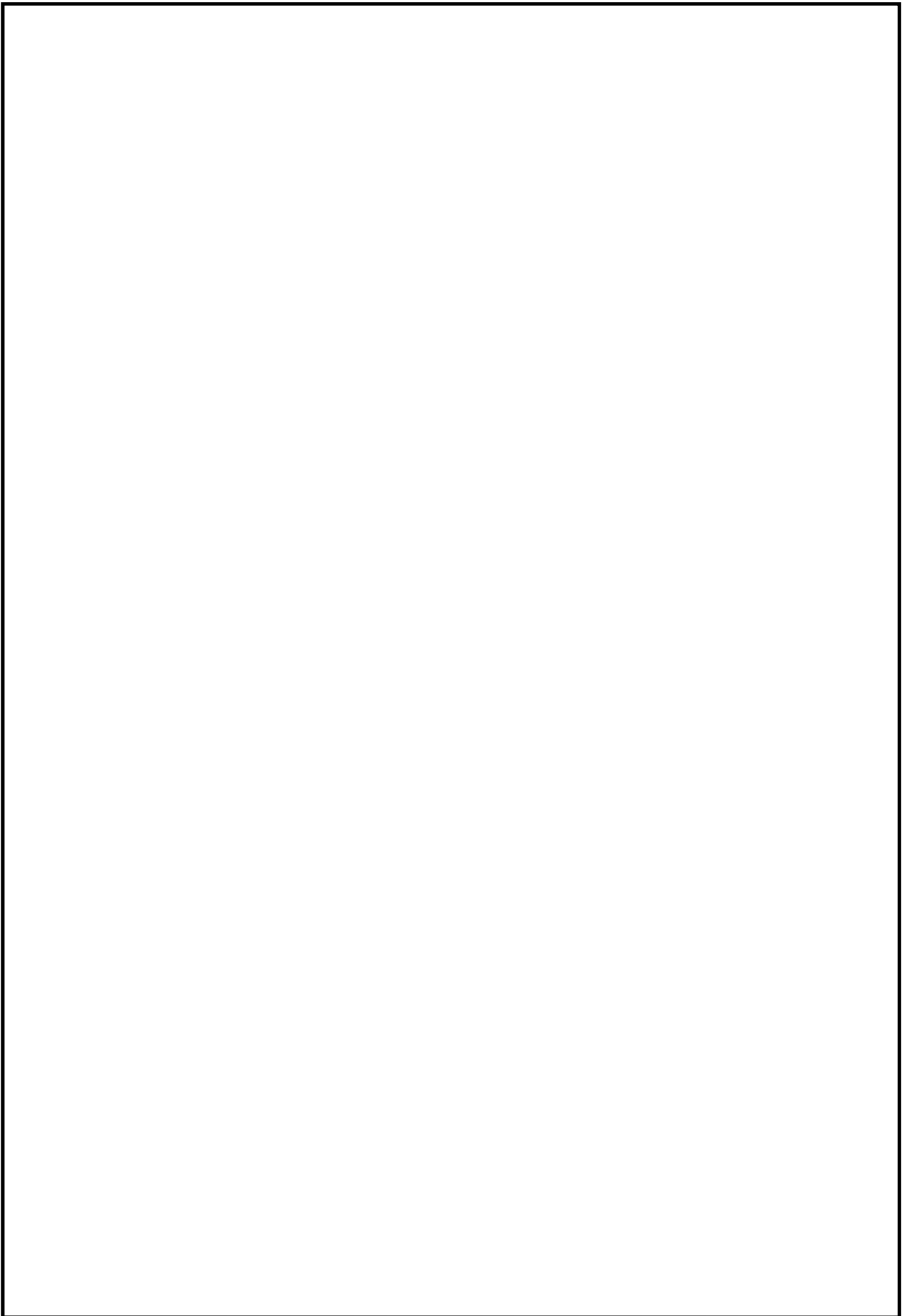
					<i>ДІП.480000.104.КРПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55



					ДІП.480000.104.КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



					ДІП.480000.104.КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57



					<i>ДІП.480000.104.КРПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		58