

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 автомобіля-самонавантажувача під час підйому вантажу

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

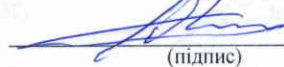
зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент групи: ПМ2326

  
(підпис)

/ Богдан ГУДЕМІЮК /

Керівник:

  
(підпис)

/ Павло АНОФРІЄВ /

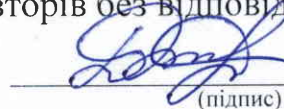
Нормоконтролер:

  
(підпис)

/ Олександр ПОСМІТІЮХА /

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 self-loading vehicle during load lifting**

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 :



/ Bohdan GUDEMYUK /



/ 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 Гудемюку Богдану Володимировичу

1. Тема роботи: Динаміка автомобіля-самонавантажувача під час підйому вантажу

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: Автомобіль-самонавантажувач з порталним краном

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати): опи  
конструкцій і характеристик самонавантажувачів; математична модел  
самонавантажувача; розробка і налагодження S-моделі коливань самонавантажувача  
вантаж.

5. Перелік демонстраційного матеріалу:

1. Тема та завдання роботи

2. Огляд автомобільних самонавантажувачів

3. Розрахункова схема і математична модель коливань автомобільног  
самонавантажувача

4. S-модель коливань автомобільного самонавантажувача

5. Результати дослідження характеристик коливань самонавантажувача під час підйом  
вантаж

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 автомобільних самонавантажувачів	04-10.11.2024	30%
2	Складання математичної і S-модель коливань автомобільного самонавантажувача	09-15.12.2024	60%
3	Дослідження коливань самонавантажувача, побудова графіків. Складання презентації	06-12.01.2025	100%

Студент

  
(підпис)

Богдан ГУДЕМІЮК

Керівник роботи

  
(підпис)

Павло АНОФРІСВ

## РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

---

В записці всього 51 сторінок

---

Найменування роботи: «Динаміка автомобіля-самонавантажувача під час підйому вантажу».

---

Ілюстрації: схем \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_; рисунків 39 \_\_\_\_\_;  
графіків \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_; фотографій \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_;  
таблиць 6 \_\_\_\_\_.

Ключові слова: САМОНАВАНТАЖУВАЧ, КОЛИВАННЯ,  
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ.

Виконано огляд поширених конструкцій автомобільних самонавантажувачів і їх експлуатаційних характеристик. Розглянуті розрахункові схеми, які використовують для розрахунку коливань стрілових кранів. Визначено ступінь ідеалізації цих динамічних розрахункових схем.

Побудовано математичну модель руху самонавантажувача і вантажу під час роботи самонавантажувача. Отримане частотне рівняння механічної коливальної системи «самонавантажувач – вантаж».

За математичною моделлю руху самонавантажувача під час підйому вантажу побудовано і налагоджена s-модель руху коливальної системи «самонавантажувач – вантаж».

За допомогою S-моделі досліджені коливання самонавантажувача і вантажу.

ВСТУП	5
1 ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ САМОНАВАНТАЖУВАЧІВ	6
2 ОГЛЯД РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ ПІД ЧАС ПІДЙОМУ СТІЛОВИМИ КРАНАМИ	15
3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ АВТОМОБІЛЯ-САМОНАВАНТАЖУВАЧА	22
3.1 Припущення і розрахункова схема моделі	22
3.2 Диференційні рівняння руху системи	27
3.3 Частотне рівняння коливальної системи	30
4 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ АВТОМОБІЛЯ-САМОНАВАНТАЖУВАЧА	33
5 ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ АВТОМОБІЛЯ-САМОНАВАНТАЖИВАЧА	42
5.1 Вихідні дані	42
5.2 Коливання системи «самонавантажувач – вантаж»	43
5.3 Аналіз результатів досліджень	47
ВИСНОВКИ	49
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	50

					<i>ДІПТ.480000.105.КРПЗ</i>		
		<i>№</i>	<i>Пі</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Гудемюк</i>			<i>Динаміка автомобіля-самонавантажувача під час підйому вантажу</i>	<i>Л</i>	<i>А</i>	<i>Акруші</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Анофрієв</i>					4	51
<i>Реценз.</i>					<i>УДУНТ, зр.ПМ2326</i>		
<i>Нор Контр.</i>	<i>Посмітюха</i>						
	<i>Ракша</i>						

















Рис. 1.9 Причіп Харвестера Vimek 404Т6

Для завантажування і перевезення стандартизованих контейнерів самонавантажувачі (рис. 1.10) обладнують портальними кранами з гідравлічним приводом. Вантажопідйомність таких кранів, що встановлені на вантажні автомобілі зазвичай не перевищує 2,5 т.

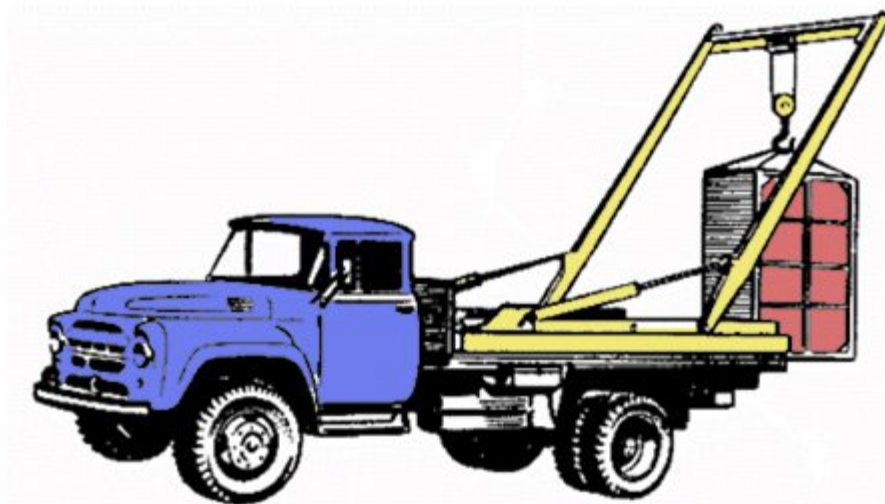


Рис. 1.10 Самонавантажувачі з портальним краном

		№	Пі							
									ДІТ.480000.105.КРПЗ	12



Вантажопідйомність підйомного борту знаходиться у діапазоні 0,5...1,0 т, висота підйому 1,2...1,4 м, час операцій підйому (опускання) вантажу 10...20 секунд.



Рис. 1.12 Самонавантажувач з заднім вантажним бортом































$$\Pi = \frac{3}{2}c_1 y_1^2 + \frac{1}{3}c_1 l^2 \varphi^2 + \frac{1}{2}c_2 (y_2 - y_1 - L \cdot \varphi \cdot \cos(\alpha))^2 \quad +$$

$$\frac{d}{dy_1} \Pi \rightarrow \frac{c_2 (2y_1 - 2y_2 + 2L \cdot \varphi \cdot \cos(\alpha))}{2} + 3 \cdot c_1 y_1 \quad \left| \begin{array}{l} \text{simplify} \\ \text{expand} \end{array} \right. \rightarrow 3 \cdot c_1 y_1 + c_2 y_1 - c_2 y_2 + L \cdot \varphi \cdot c_2 \cos(\alpha)$$

$$\frac{d}{d\varphi} \Pi \rightarrow \frac{2 \cdot \varphi \cdot c_1 l^2}{3} + L \cdot c_2 \cos(\alpha) \cdot (y_1 - y_2 + L \cdot \varphi \cdot \cos(\alpha)) \quad \left| \begin{array}{l} \text{simplify} \\ \text{expand} \end{array} \right. \rightarrow \frac{2 \cdot \varphi \cdot c_1 l^2}{3} + L^2 \cdot \varphi \cdot c_2 \cos(\alpha)^2 + L \cdot c_2 y_1 \cdot \cos(\alpha) - L \cdot c_2 y_2 \cdot \cos(\alpha)$$

$$\frac{d}{dy_2} \Pi \rightarrow -\frac{c_2 (2y_1 - 2y_2 + 2L \cdot \varphi \cdot \cos(\alpha))}{2} \quad \left| \begin{array}{l} \text{simplify} \\ \text{expand} \end{array} \right. \rightarrow c_2 y_2 - c_2 y_1 - L \cdot \varphi \cdot c_2 \cos(\alpha)$$

Рис. 3.7 Алгоритм отримання частних похідних потенціальної енергії

### 3.3 Частотне рівняння коливальної системи

У першому наближенні, для отримання частотного рівняння коливальної системи не враховуємо демпфування коливань. При цьому припущені рівняння руху спрощується

$$\begin{cases} \ddot{a}_{11} y_1 + c_{11} y_1 + c_{12} y_2 = 0; \\ \ddot{a}_{21} y_1 + c_{21} y_1 + c_{22} y_2 = 0; \\ \ddot{a}_{31} y_2 + c_{31} y_1 + c_{32} y_2 = 0, \end{cases}$$

Підставимо в рішення наступному вигляді

$$y_1 = Y_1 \sin \omega t;$$

$$y_2 = j_A \sin \omega t;$$

$$y_2 = Y_2 \sin \omega t,$$

де  $Y_1, j_A, Y_2$  – амплітуди коливань по відповідним узагальненим координатам;

$\omega$  – кругова частота;

$t$  – час.



$$A = -a_{11}a_{21}a_{31};$$

$$B = a_{21}a_{31}c_{11} + a_{11}a_{31}c_{22} + a_{11}a_{21}c_{33};$$

$$C = a_{31}c_{12}^2 + a_{21}c_{13}^2 + a_{11}c_{23}^2 - a_{31}c_{11}c_{22} - a_{21}c_{11}c_{33} - a_{11}c_{22}c_{33};$$

$$D = 2c_{12}c_{13}c_{23} - c_{33}c_{12}^2 - c_{22}c_{13}^2 - c_{11}c_{23}^2 + c_{11}c_{22}c_{33}.$$

Корні частотного рівняння можна зручно знайти графічним методом або за допомогою вбудованих функцій системи Mathcad.







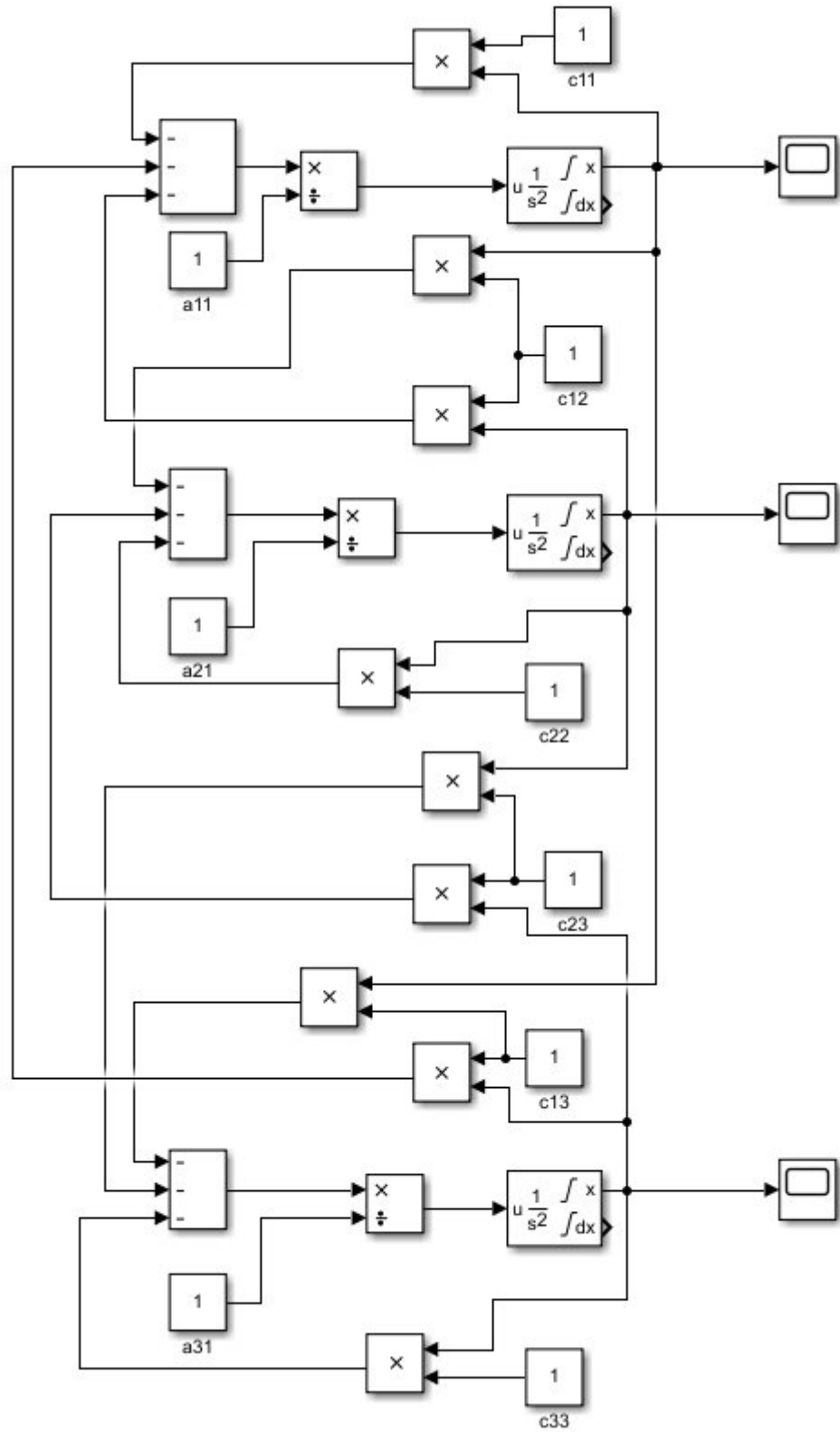


Рис. 4.1 Імітаційна модель коливань самонавантажувача

		№	Пі	

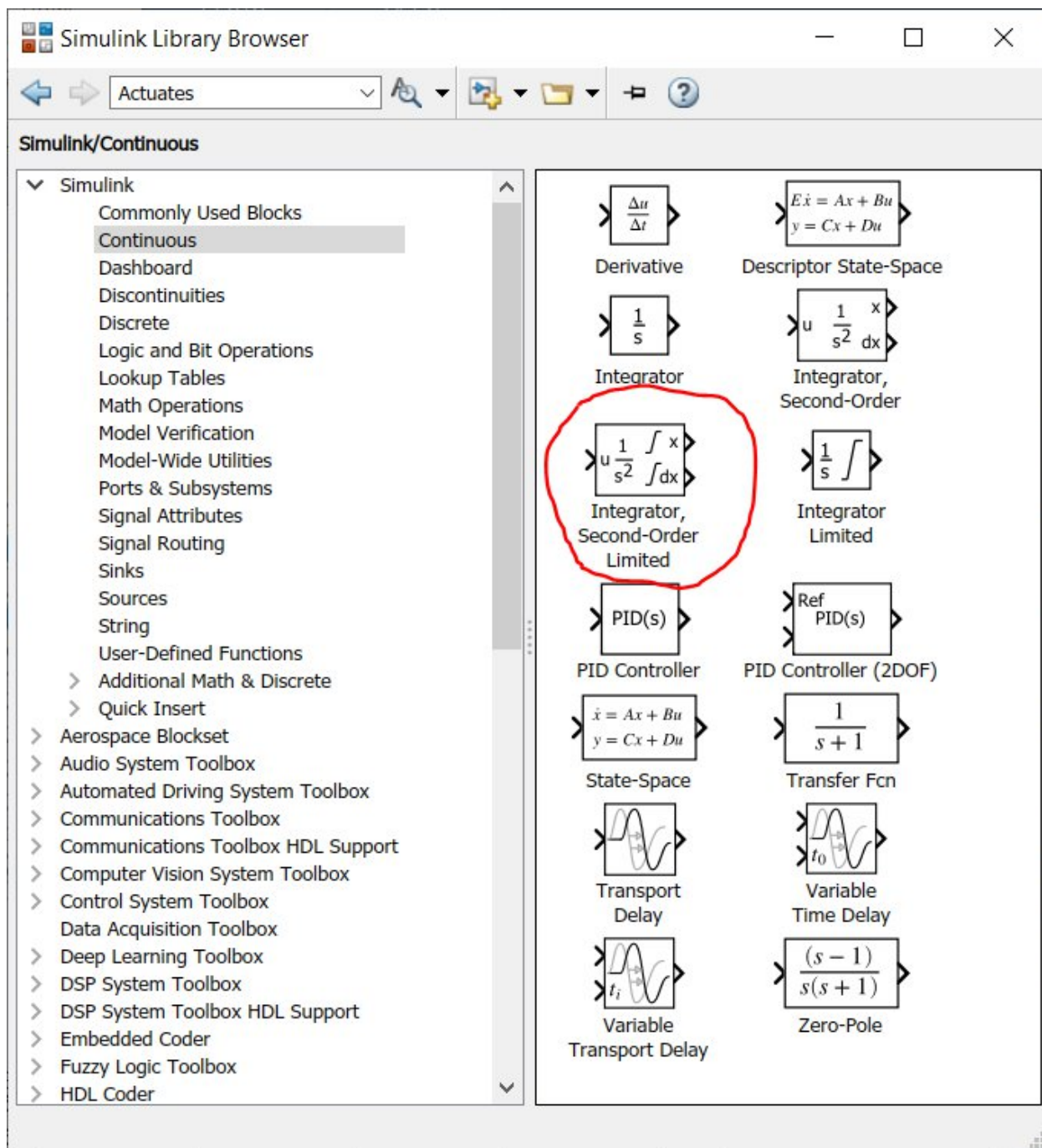


Рис. 4.2 Бібліотека блоків Simulink

		№	Пі	



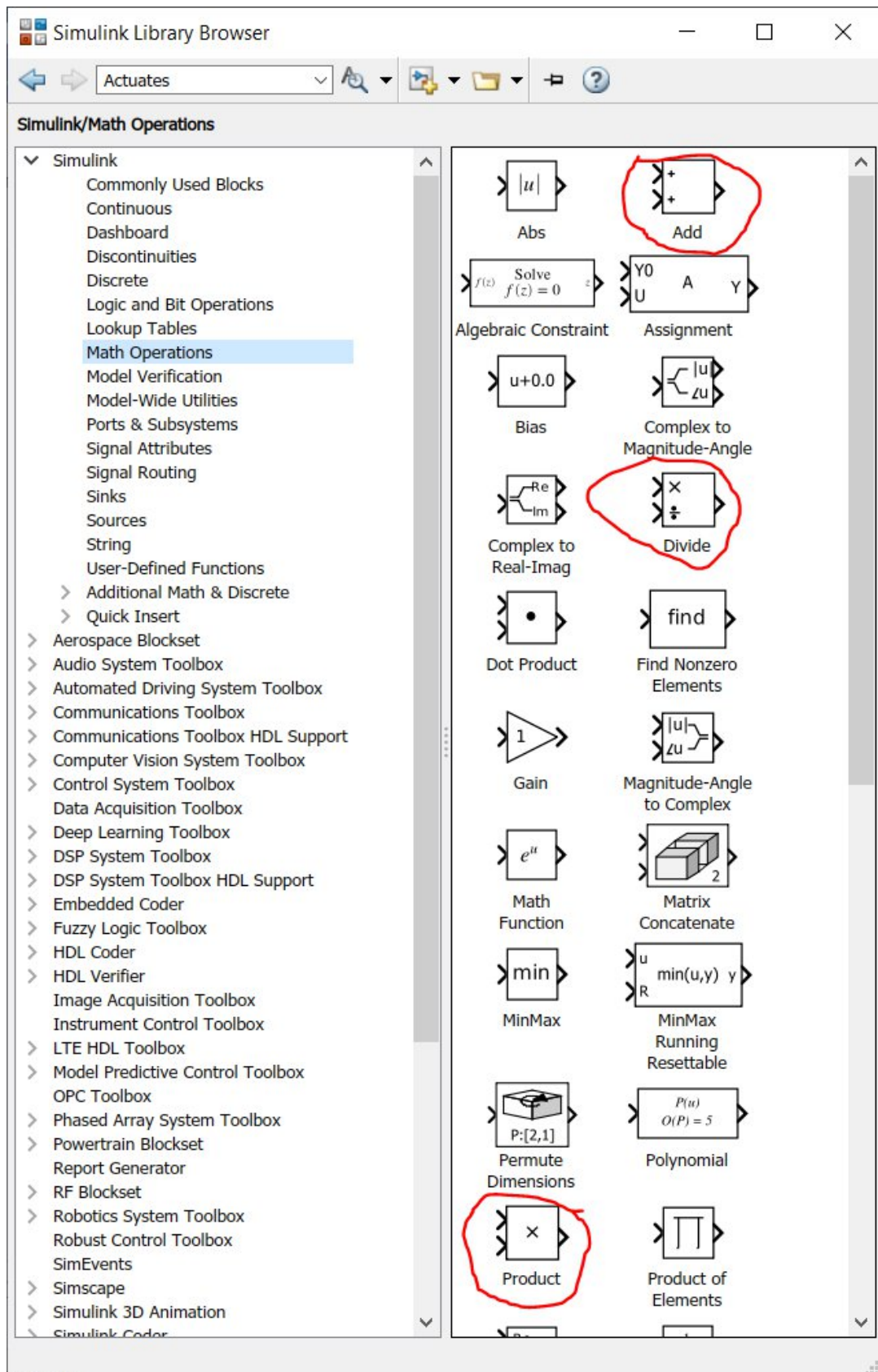


Рис. 4.4 Math Operation бібліотеки Simulink

		№	Пі	





## 5 ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ АВТОМОБІЛЯ-САМОНАВАНТАЖИВАЧА

### 5.1 Вихідні дані

Максимальна відстань  $L$  від центру мас навантажувача до вершини порталу складає 11,1 м.

Жорсткість підвіски пари коліс автомобіля

$$c_1 = 3,81 \text{ МН/м}$$

Загальна податливість порталу та текстильних строп  $c_2$

$$\frac{1}{c_2} = \frac{1}{c_{\text{порт}}} + \frac{1}{c_{\text{стр}}},$$

де  $c_{\text{стр}} \approx 0,16 \text{ МН/м}$  – жорсткість строп.

Загальна жорсткість порталу та текстильних строп

$$c_2 = \frac{c_{\text{порт}} c_{\text{стр}}}{c_{\text{порт}} + c_{\text{стр}}} = 0,146 \text{ МН/м}$$

Таблиця 5.1  
Інерційні коефіцієнти

$a_{11}$	$a_{21}$	$a_{31}$
$m_1, \text{ кг}$	$J, \text{ кг}\cdot\text{м}^2$	$m_2, \text{ кг}$
11600	40234	8000

Таблиця 5.2

Коефіцієнти жорсткості

Варіант даних	$c_{11}$	$c_{12} = c_{21}$	$c_{13} = c_{31}$	$c_{22}$	$c_{23} = c_{32}$	$c_{33}$
	$3c_1 + c_2,$ МН/м	$c_2$ $L \cos \alpha,$ МН	$-c_2,$ МН/м	$\frac{2}{3} c_1 l^2 + c_2 L^2 \cos^2 \alpha$ МН·м	$-c_2$ $L \cos \alpha,$ МН	$c_2,$ МН/м
1	11,58	1,572	-0,146	99,103	-1,572	0,146
2	11,59	0,888	-0,157	87,550	-0,888	0,157
3						



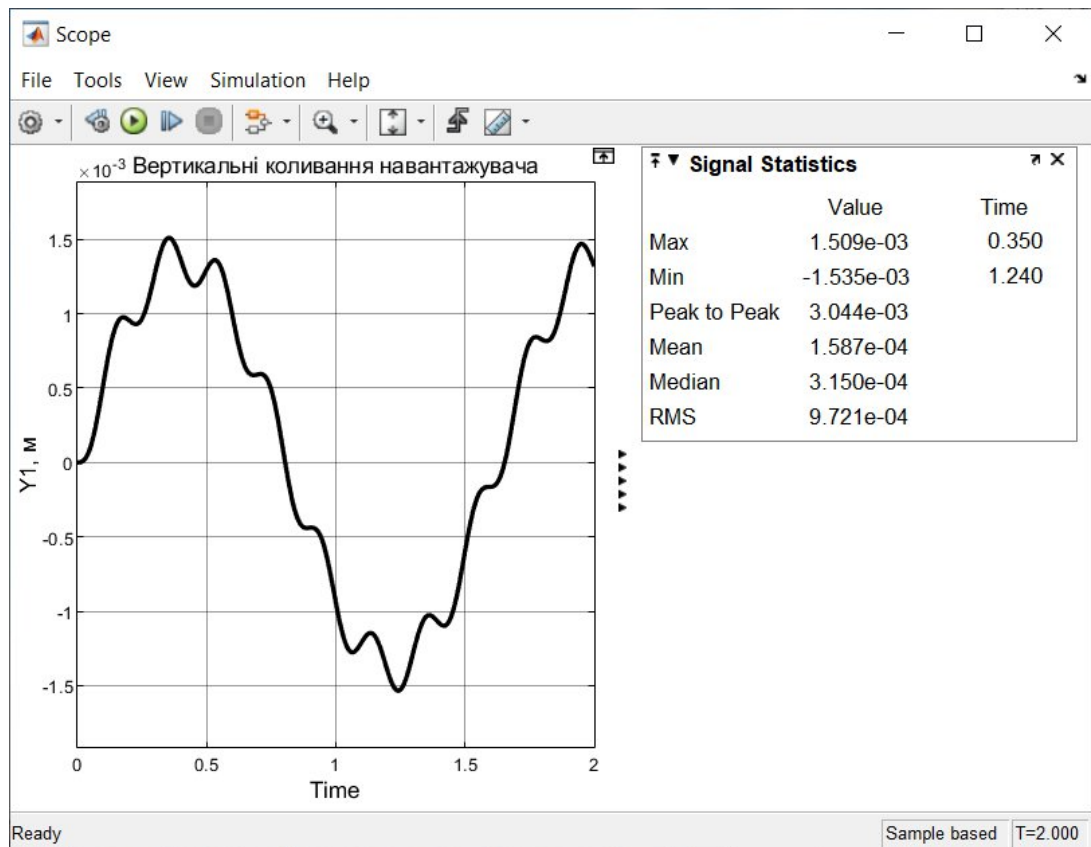


Рис. 5.2 Вертикальні коливання автомобіля

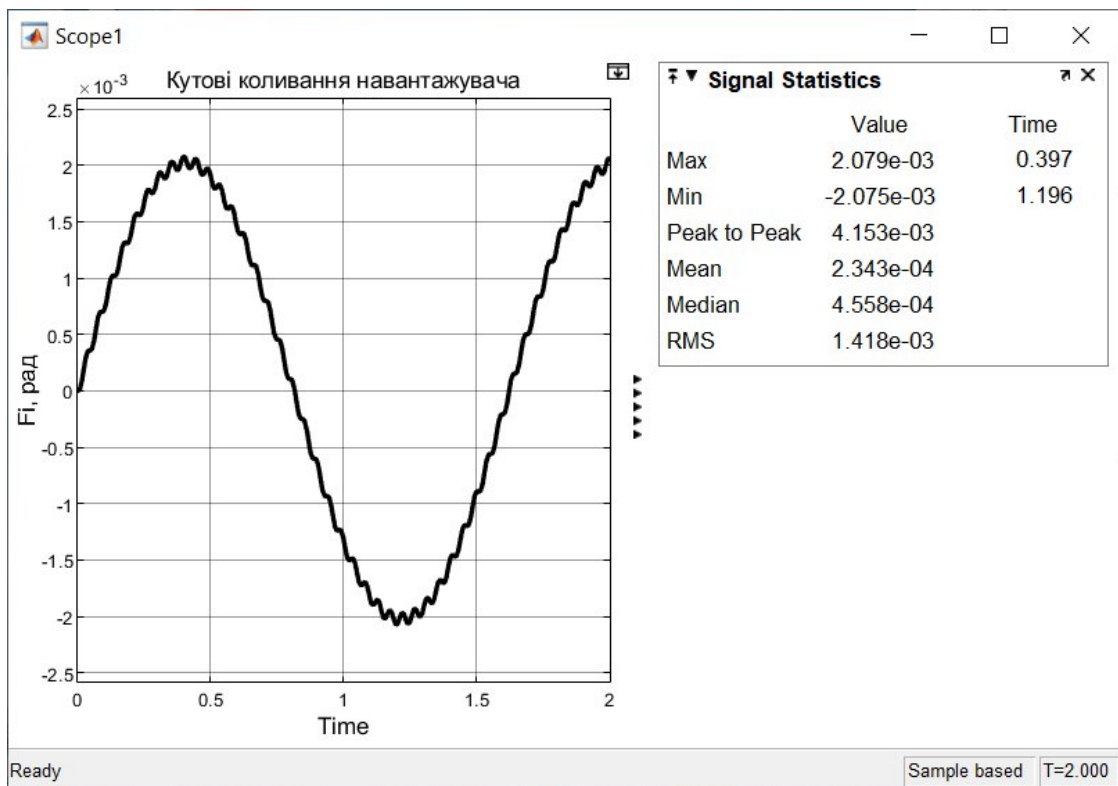


Рис. 5.3 Кутові коливання автомобіля



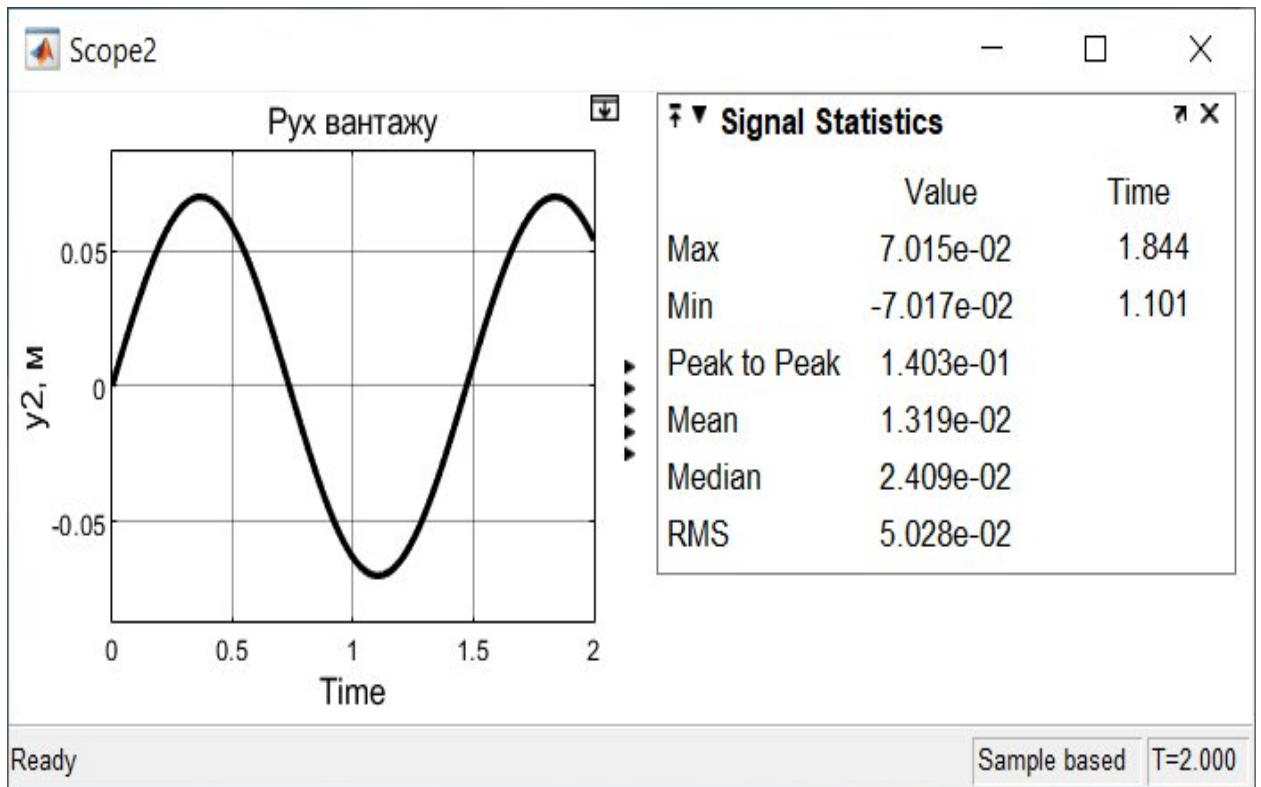


Рис. 5.5 Статистичні дані коливання вантажу

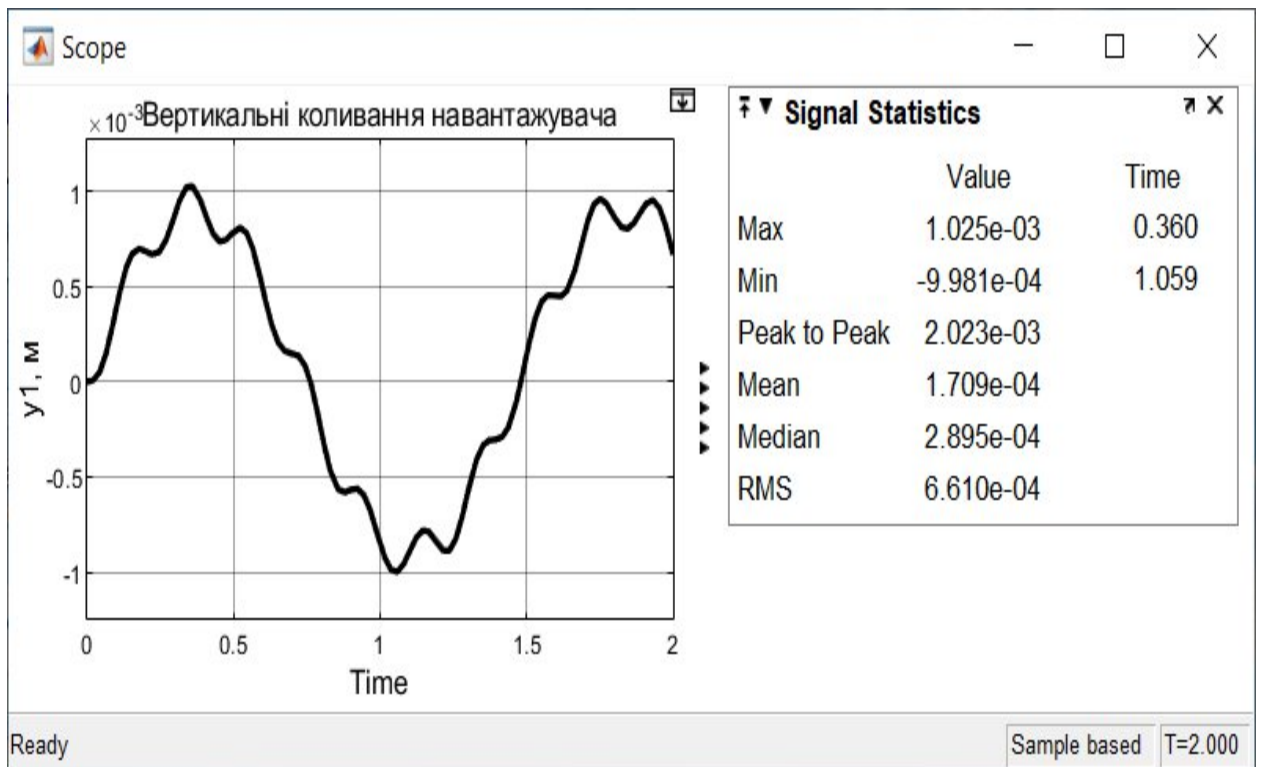


Рис. 5.6 Статистичні дані вертикальних коливань автомобіля





## ВИСНОВКИ

1. Виконано огляд поширених конструкцій автомобільних самонавантажувачів і їх експлуатаційних характеристик. Визначені варіанти їх оснащення підйомним обладнанням.
2. Розглянуті розрахункові схеми, які використовують для розрахунку коливань стрілових кранів. Визначено ступінь ідеалізації цих динамічних розрахункових схем.
3. Побудовано математичну модель руху самонавантажувача і вантажу під час роботи самонавантажувача. Модель має 3 узагальнених координати. Рух моделі описує система з трьох звичайних диференціальних рівнянь другого порядку.
4. Отримане частотне рівняння механічної коливальної системи «самонавантажувач – вантаж».
5. За математичною моделлю руху самонавантажувача під час підйому вантажу побудовано і налагоджена s-модель руху коливальної системи «самонавантажувач – вантаж».
6. Максимальна амплітуда коливань вантажу 129 мм відбувається при максимальному вильоті порталу.
7. При вертикальному положенні порталу амплітуда коливань вантажу в 1,84 рази менше ніж при максимальному вильоті порталу.
8. Амплітуда вертикальних коливань самонавантажувача не перевищує 1,5 мм.
9. Побудовано залежність амплітуди коливань вантажу від його маси. Ця залежність має майже лінійний характер.
10. Результати роботи опубліковано у тезах «Динаміка автомобіля-самонавантажувача під час підйому вантажу» Конференції студентів і молодих вчених «МОЛОДА АКАДЕМІЯ - 24», Дніпро, травень 2024 р.

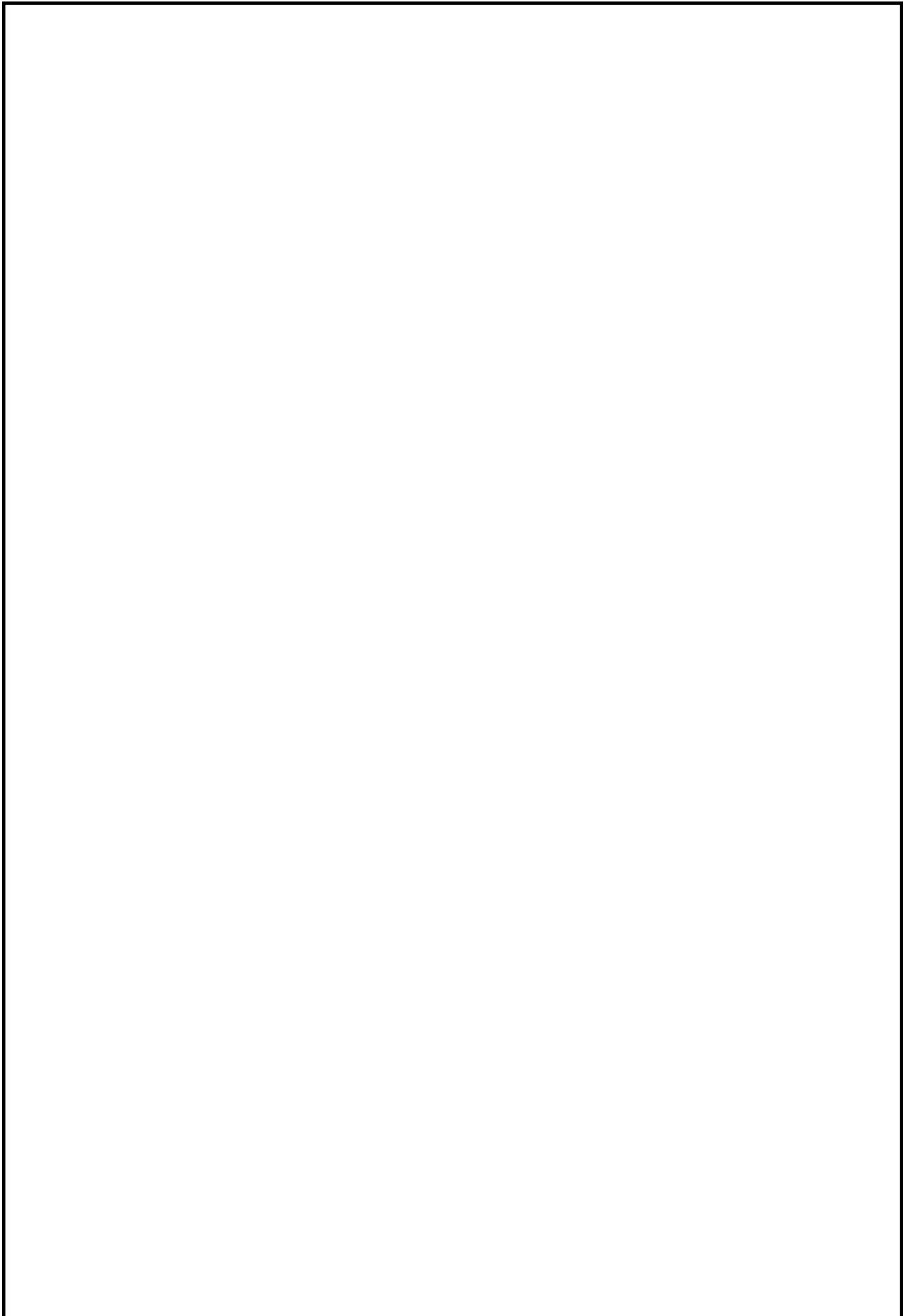


10. Ромасевич, Ю.О. Динаміка та оптимальне керування рухом мостових кранів. Монографія / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, В.А. Голдун, В.В. Крушельницький. К. : ЦП "КОМПРІНТ", 2019. – 460 с.

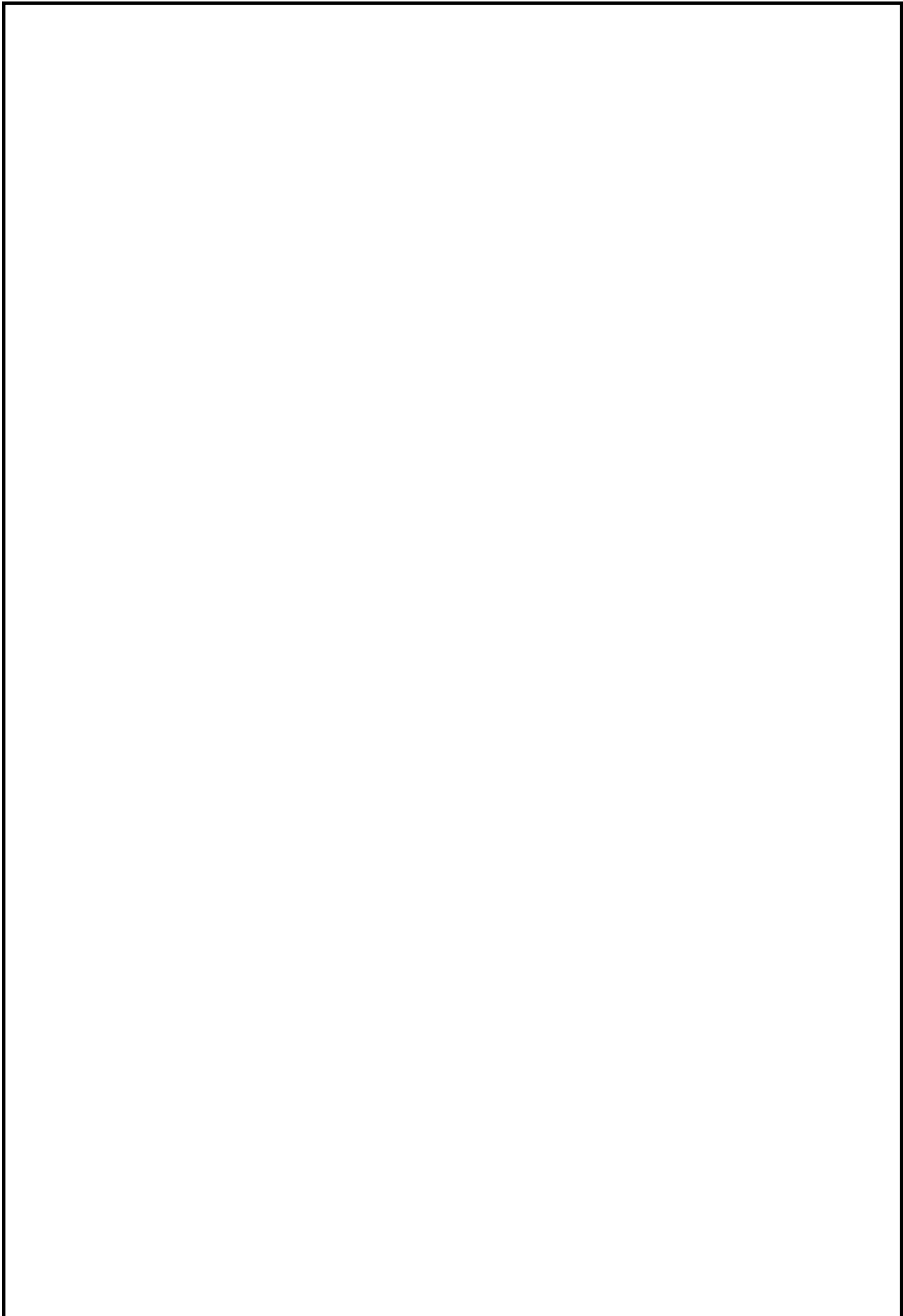
11. Сагиров, Ю.Г. Колебания пролетных балок мостового крана. Захист металургійних машин від поломок / Сагиров Ю. Г., Суглобов В. В.//Маріуполь: зб. наук. пр. ПДТУ. 2008. Вип. 10. С. 151–158.

12. Ловейкін, В. С. Моделювання динаміки механізмів вантажопідійомних машин / Ловейкін В. С., Човнюк Ю. В., Діктерук М. Г., Пастушенко С. І. К. - Миколаїв : РВВ МДАУ, 2004. – 286 с.

					ДІТ.480000.105.КРПЗ	
		№	Пі			52



					ДІТ.480000.105.КРПЗ	
		№	Пі			53



					ДІТ.480000.105.КРПЗ	
		№	Пі			54