

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»

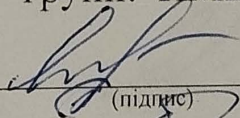
на тему: S-модель коливань стелу для випробування осей колісних пар рухомого складу

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

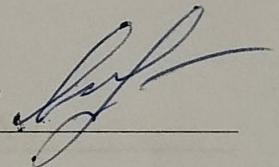
зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент

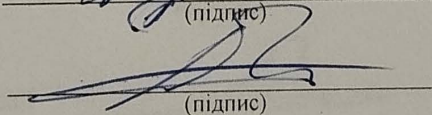
групи: ПМ2226

  
(підпис)

/ Денис АНТОНОВ /

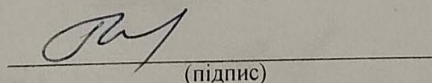


Керівник:

  
(підпис)

/ Павло АНОФРІЄВ /

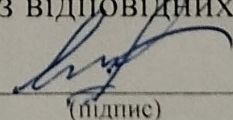
Нормоконтролер:

  
(підпис)

/ Олександр ПОСМІТЮХА /

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

Студент

  
(підпис)

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

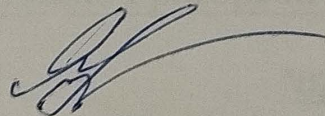
Explanatory Note  
to Master's Thesis

on the topic: S-model of oscillations of the stand for testing axles of wheel pairs of rolling stock

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

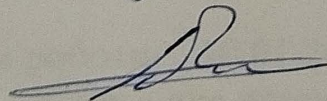
in the Speciality: 133 Industrial Engineering

Done by the student of the group: ПІМ2226



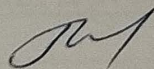
/ Denis ANTONOV /

Scientific Supervisor:



/ Pavlo ANOFRIIEV /

Normative controller :



/ Oleksandr POSMITIUKHA /



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ 2022 р.

### ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи на здобуття ОС «магістр»

студента групи ПМ2226 Антонов Денис Ігорович  
(номер (прізвище, ім'я та по батькові))

1. Тема дипломного проекту S-модель коливань стенду для випробування осей колісних пар рухомого складу

Затверджена наказом по університету № 1194ст від "02" грудня 2022 р.

2. Термін подання студентом закінченого проекту (роботи) 14 січня 2024 р.

3. Вихідні дані до дипломного проекту  
Стенд для випробування осей колісних пар рухомого складу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки) огляд конструкцій стендів для випробування осей колісних пар рухомого складу залізниць; математична модель коливань стенду; розробка і налагодження алгоритмів розрахунку коливань ланок стенду; вимоги охорони праці на ділянці випробування осей і дії у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік креслень (демонстраційного матеріалу) \_\_\_\_\_

1. Тема та завдання роботи

2. Устрій стенду для випробування осей колісних пар рухомого складу

3. Розрахункова схема і математична модель коливань стенду

4. S-модель коливань ланок стенду

5. Результати розрахунків коливань ланок стенду

6. Висновки



## РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

В пояснювальній записці всього 41 сторінок

Найменування роботи: S-модель коливань стенду для випробування осей колісних пар рухомого складу

Ілюстрації: схем \_\_\_\_\_ – \_\_\_\_\_, рисунків 30

графіків, \_\_\_\_\_ – \_\_\_\_\_, фотографій \_\_\_\_\_

таблиць 2

Ключові слова: колісні пари, осі, випробування, стенди, коливання, математичні моделі, імітаційні моделі.

Виконано огляд конструкцій і характеристик стендів для випробування осей колісних пар рухомого складу залізниць.

Виконано ідеалізацію двох розрахункових схем для побудови математичної моделі випробувального стенду, що описує вимушені коливання його силових ланок. На основі побудованої математичної моделі, за допомогою технологій візуального програмування пакету Simulink системи Matlab побудовані та налагоджені дві s-моделі, що визначають власні частоти коливання ланок випробувального стенду. Побудовано залежність власних частот коливань стенду від маси важелів стенду.

У четвертому розділі викладені положення про охорону праці під час воєнного стану і дій при знаходженні вибухонебезпечних об'єктів.

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ОГЛЯД МЕТОДІВ І КОНСТРУКЦІЙ ВИПРОБУВАЛЬНИХ СТЕНДІВ ОСЕЙ	7
1.1 Стенди з консольним навантаженням осей	8
1.2 Стенди з навантаженням осей як двохопорної балки	12
1.3 Об'єкт і завдання роботи	18
2. РОЗПОДІЛ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДУ	19
3. ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ СТЕНДУ	23
3.1 Математична модель коливань стенду	24
3.2 Параметри важелів стенду	26
3.3 S-модель розрахунку власних частот стенду	28
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ І ДІЙ ПРИ ЗНАХОДЖЕННІ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	31
4.1 Захист інтересів суб'єктів подання звітності та інших документів у період дії воєнного стану або стану війни	31
4.2 Організація трудових відносин в умовах воєнного стану	32
4.3 Зупинення строків надання адміністративних послуг та видачі документів дозвільного характеру	33
4.4 Припинення заходів державного нагляду в умовах воєнного стану	33
4.5 Порядок проведення медико-соціальної експертизи на період дії воєнного стану на території України	34
4.6 Вибухонебезпечні предмети і правила поведінки у разі їх виявлення	35
ВИСНОВКИ	38
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	39

						ДІПТ.291000.901КРПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Антонов				S-модель коливань стенду для випробування осей колісних пар рухомого складу	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Анофрієв						4	41
Реценз.	П.І.Б.					УДУНТ, ар. ПМ2226		
Н. Контр.	Посмітюха							
Затверд.	Ракша							

## ВСТУП

Безпека залізничного руху залежить від багатьох складових. Однією такою складовою є надійність осей колісних пар рухомого складу. На залізниці та метрополітенах для колісних пар вантажних вагонів, пасажирських вагонів локомотивної тяги, локомотивів, моторвагонного рухомого складу, спеціального залізничного рухомого складу та рухомого складу метрополітену використовують чорнові осі та чистові осі [ (1)].

Чорнові осі виготовляють методами гарячого формоутворення: вільним куванням, штампуванням, гвинтовою прокаткою та радіально-ротаційним куванням. Обтискання металу під час виготовлення чорнових осей для колісних пар залізничного рухомого складу має бути  $\geq 3$ , для колісних пар рухомого складу метрополітену – не менше 5.

Виготовляють осі зі сталей з високими показниками механічних властивостей: тимчасовий опір розриву  $\sigma_b$  600...650 Н/мм<sup>2</sup>; межа текучості  $\sigma_T$  300...325 Н/мм<sup>2</sup>; відносне подовження  $\delta$ , 18...20%; ударна в'язкість КСУ при 20 °С: для шийки 44...54 Дж/см<sup>2</sup>; для маточної частини 34...49 Дж/см<sup>2</sup>. Чистові осі виготовляють із чорнових осей. Поверхні чистових осей не повинні мати дефектів у вигляді чорновини, тріщини, розкатаних газових бульбашок.

Осі піддають перевірці на відповідність вимогам при приймально-здавальних, періодичних та типових випробуваннях. У процесі приймально-здавальних випробувань контролюються: розміри, допуски форми та розташування поверхонь; хімічний склад; механічні властивості; якість поверхні.

Для визначення механічних властивостей існують міждержавні обов'язкові методики. Визначення межі витривалості чистових осей вагонних колісних пар рухомого складу залізниць колії 1520 мм виконують за типовою методикою випробувань [ (2)]. Осі навантажують знакозмінними симетричними або пульсаційними силами. Конструювання таких випробувальних стендів передбачає математичне та імітаційне моделювання коливальних процесів, які виникають при роботі. Моделювання дозволяє визначити кінематичні

										ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
											5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

характеристики стану, статичні та динамічні навантаження, що діють на його ланки та кінематичні пари. Результати моделювання є вихідними даними для розробки як самої конструкції стану, так і його деталей, і вузлів. Імітаційне моделювання значно прискорює процес вибору раціональної схеми та конструктивних параметрів стану за вимогами надійності, а також за критеріями міцності, жорсткості та вібраційної стійкості.

					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ І КОНСТРУКЦІЙ ВИПРОБУВАЛЬНИХ СТЕНДІВ ОСЕЙ

Іспит осей на витривалість відбувається за двома схемами їх навантаження: консольного або як балки на двох опорах. Для визначення параметрів міцності осей при експлуатаційних напругах необхідно оцінити межі витривалості критичні їх ділянок.

Оцінка меж витривалості матеріалу осей визначають на зменшених зразках діаметром 10 мм і безпосередньо осей. Випробування проводять на виготовлених зразках осей, для яких габарити та технологія виготовлення аналогічні кінцевому виробу та пов'язаним з ним допустимим дефекти виготовлення.

Межі витривалості, що визначаються зменшеними випробувальними зразками, використовуються для перевірки того, що ефект надрізу матеріалу, що використовується для виготовлення осі відповідає коефіцієнту безпеки "S", визначеному у стандартах проектування EN 13103 [ (3) ] та EN 13104 [ (4) ]. Вони визначаються для зразків з гладкою поверхнею (без надрізу) (межа витривалості  $RfL$ ) і з надрізом (межа втоми  $RfE$ ).

$RfL$  і  $RfE$  визначають для 107 циклів при ймовірності відсутності руйнування 50%, що вимагає використання не менше 15 тестових зразків для кожної межі та статистичний метод для інтерпретації результатів.

Випробування проводять на машинах для випробувань на втому, які на осях створюють згинальний момент. Навантаження забезпечується вагою, пружиною або гідромеханічним пристроєм. Сили згину, що створені механізмами стенду вимірюються датчиками.

Випробування зменшеного зразка проводять відповідно до вимог стандарту ISO 12107 [ (5) ] та оцінюють у відповідно до методу сходів, що описаний в цьому стандарті, або вдосконаленого методу сходів, описаного Хюком [ (5) ], що дозволяє брати в розрахунок всі випробувані зразки.

У розрахунках осей використовуються значення, що відповідають межам втоми відповідного матеріалу. Межі втоми повинні бути отримані зі значення

										Арк.
										7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$S$  коефіцієнта безпеки. Мінімальне значення коефіцієнт безпеки відповідно до стандарту EN 13104 дорівнює 1,2, а для ведучої осі вище через кручення, вібрації і динамічні сили.

Для випробувань використовують машини, які викликають напругу згину, що обертається. Випробувальний зразок має бути з того самого матеріалу, який використовується для виготовлення осі.

#### 1.1 Стенди з консольним навантаженням осей

Випробування на втому проводять або на випробувальній машині з обертовою віссю, або частіше на резонансних випробувальних машинах типу Sincotec (рис. 1.1).

Машина для резонансних випробувань викликає обертові напруги згину в тілі осі, яка міцно закріплена на фундаменті за допомогою блокуючого пристрою. На цапфі у верхньої частини осі встановлена вантажна головка з обертовими ексцентриками, які створюють обертове навантаження на згин (рис. 1.2).

Режим випробування контролюють за допомогою контрольних тензодатчиків, що наклеєні на осі біля досліджуваного місця і на вільній поверхні осі (рис. 1.3).

Випробування завершується після  $10^7$  циклів.

					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.1 Випробувальна машина фірми Sincotec

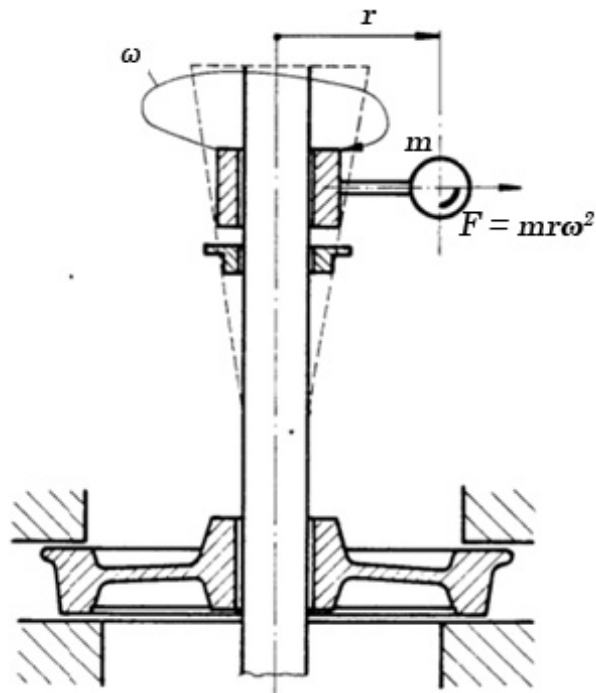


Рис. 1.2 Схема навантаження при резонансних випробуваннях осі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.291000.901КРПЗ

Арк.

9

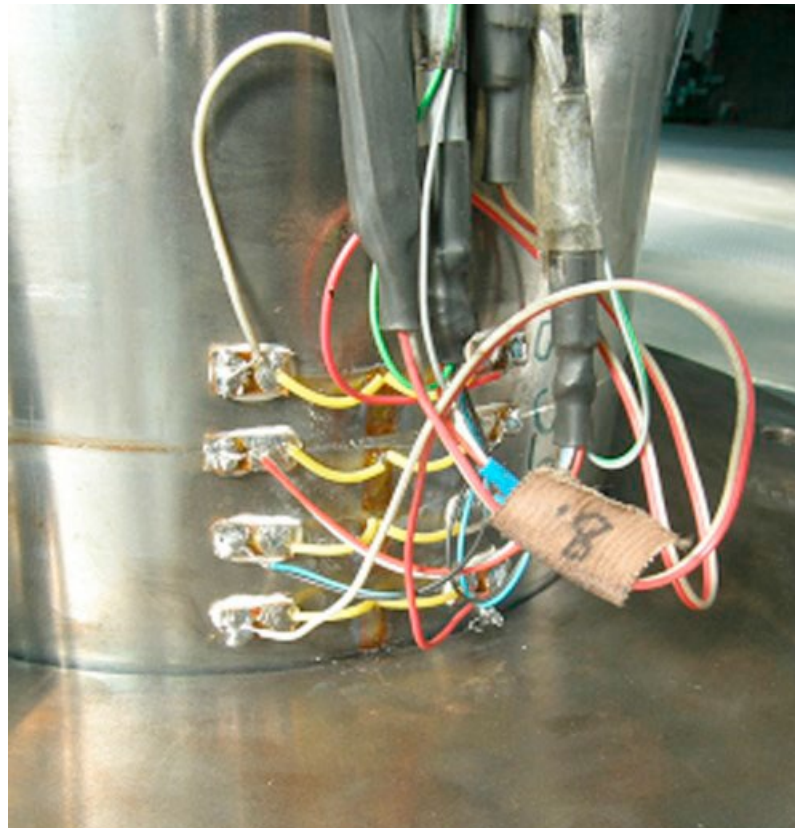


Рис. 1.3 Ланцюг тензодатчиків біля краю втулки

Відома конструкція стану з консольним закріплення осі (рис. 1.4) на жорсткій або пружній основі [ (6)] з навантаженням гармонійними інерційними силами. Навантаження осі відбувається за рахунок обертання маси, що розміщена на її консольній частині. Неврівноважена маса через карданну передачу приводиться у обертання електродвигуном. Випробування осі на такому станді створює сильний вібраційний вплив на фундамент стану та на будівлю, в якій він працює. Зниження вібраційної дії на фундамент досягається установкою пружних елементів під рамою стану.

З метою підвищення продуктивності досліджень та зниження вібрації, що викликається процесом випробувань, було запропоновано конструкцію стану для одночасних випробувань кількох осей [ (7)], що встановлені на платформі симетрично (рис. 1.5). Вектори дисбалансів на осях направлені у протилежні напрямки та компенсуються. Груповий привід забезпечує задану синхронізацію обертання неуврівноважених мас з необхідним усуненням фаз. Одночасне навантаження кількох осей дозволяє в кілька разів зменшити час проведення випробувань.

									Арк.
									10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ДІТ.291000.901КРПЗ

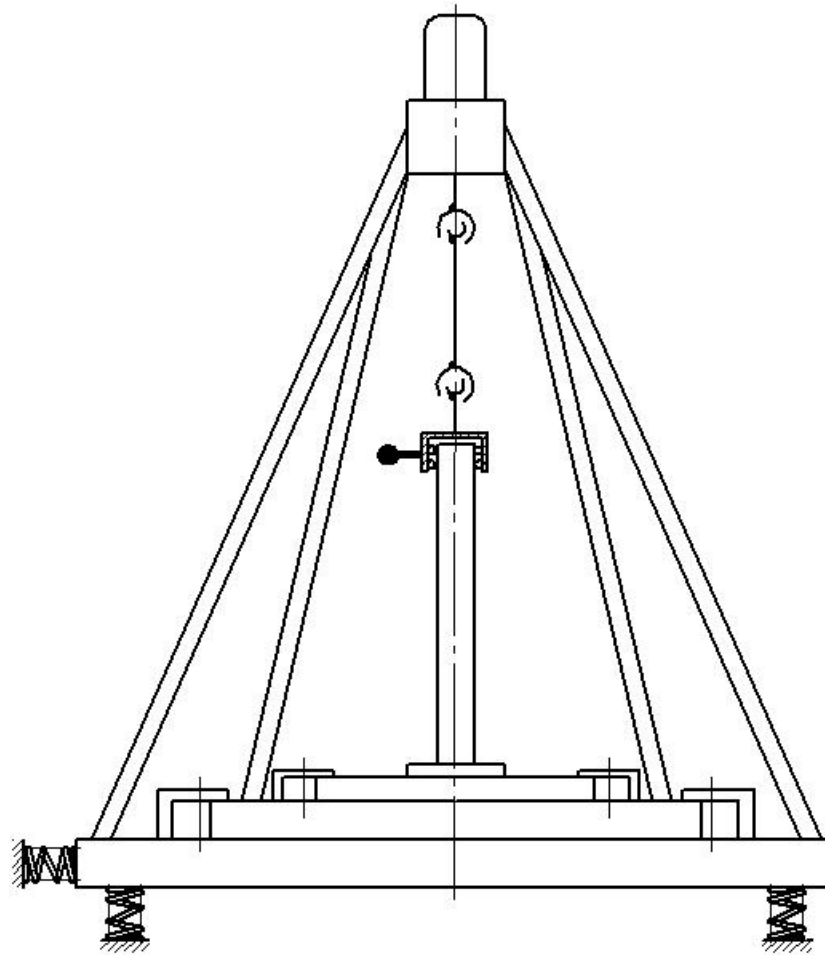


Рис. 1.4 Стенд для випробування осей з додатком навантаження на консолі

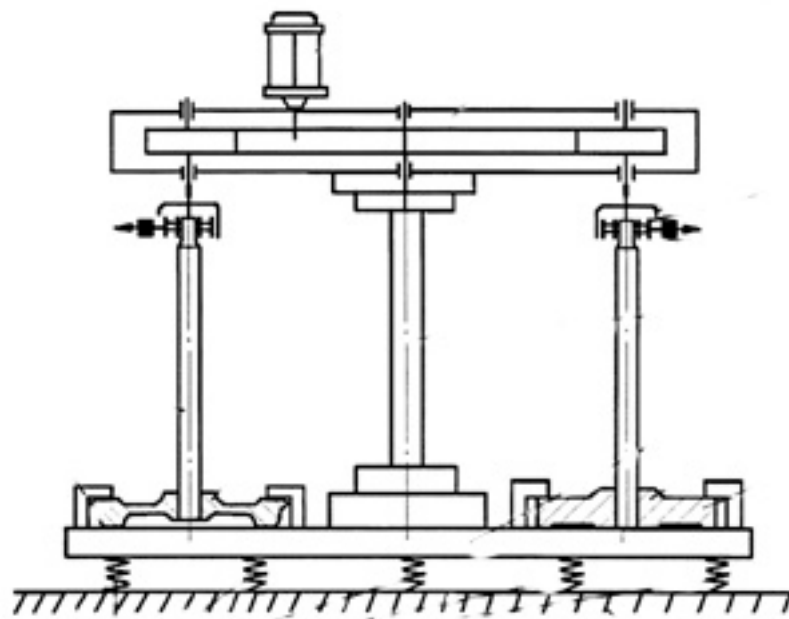


Рис. 1.5 Стенди з навантаженням осей як двохопорних балок

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.291000.901КРПЗ

Арк.

11

## 1.2 Стенди з навантаженням осей як двохопорної балки

При іншій відомій схемі випробувань, вісь або її частина навантажують як балку на двох опорах (рис. 1.6). Якими-небудь особливими перевагами ці схеми навантаження, порівняно один з одним, не мають. Однак трохи зручніше встановлення осі на дві опори, ніж вертикальна консольна з колесом.

Циклічне пульсаційне навантаження прикладають між опорами за допомогою гідравлічного, інерційного або важеля збудника. Для визначення величини такого навантаження вводиться коефіцієнт приведення її до еквівалентного симетричного знакозмінного навантаження.

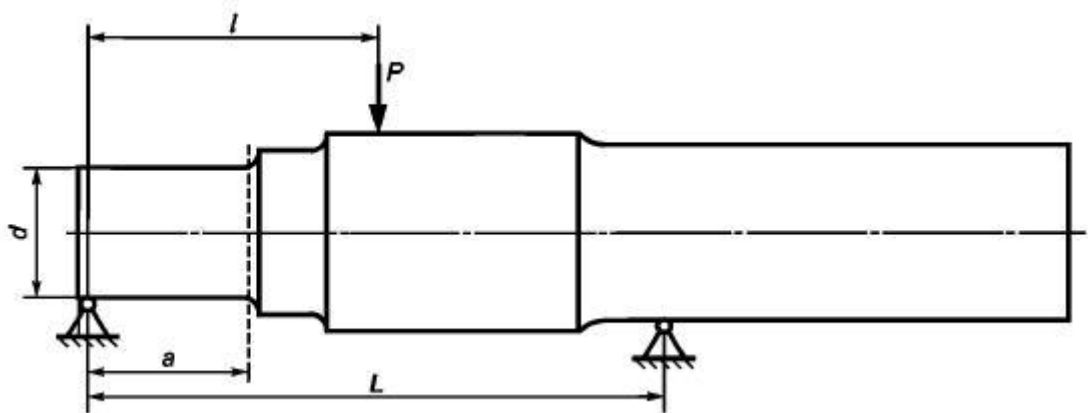


Рис. 1.6 Схема навантаження при випробуваннях осі на витривалість

За призначенням випробувальні машини (стенди) бувають універсальні і спеціалізовані. Універсальна машина для випробувань [ (8) ] маточини осі за схемою балки на двох опорах (рис. 1.7) містить траверсу 1, навантажувач 2, стійкі 3, опори 4. Ось, що випробують встановлюють на опори, підводять навантажувач 2 і вмикають його до роботи.

На цієї ж машині виконують випробування повнорозмірних залізничних осей (рис. 1.8) і великих колінчастих валів.

						ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
							12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



був 0,1. Зусилля передається через плече проміжного важеля 3, який закріплений двома стійками опори 4 проміжного важеля. Далі через пари регулювального болта 9 та гайок 10 на основний важіль 5, двома стойками опори основного важеля. Всі стійки опор нерухомо закріплені до основи. Плече сили являє собою ефект добутку довжин плеч, а загальна довжина реалізується сумарною дією реакції взаємних переміщень важеля 5 відносно важеля 3. Регулювання положення важеля здійснюється за допомогою різьбової пари болта 9 та гайки 10. Випробувана ось 8 опирається на дві стійки 7. Стійки мають можливість переміщатися для зміни зусилля на колесо.

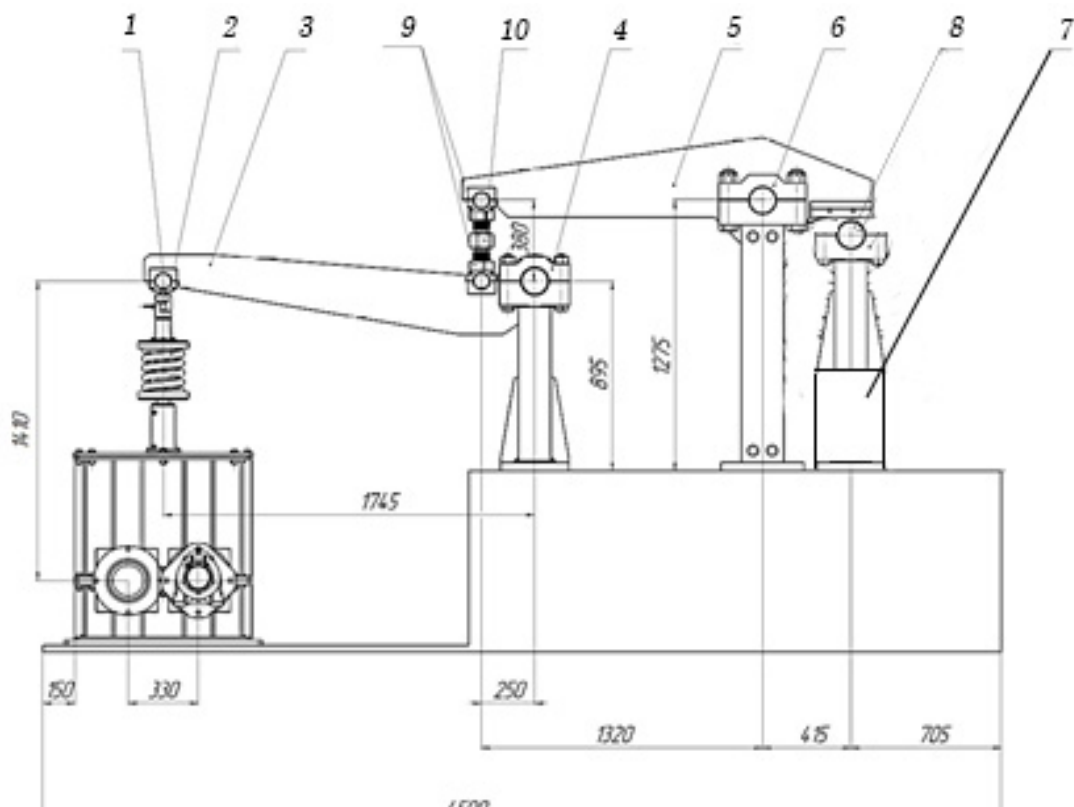


Рис. 1.9 Випробувальний важільний стенд

Механізм навантажувача стенду (рис. 1.10) складається з електродвигуна, редуктора (рис. 1.11), штоку-товкача та демпфера (рис. 1.12) з циліндричними пружинами.

									Арк.
									14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДІТ.291000.901КРПЗ				



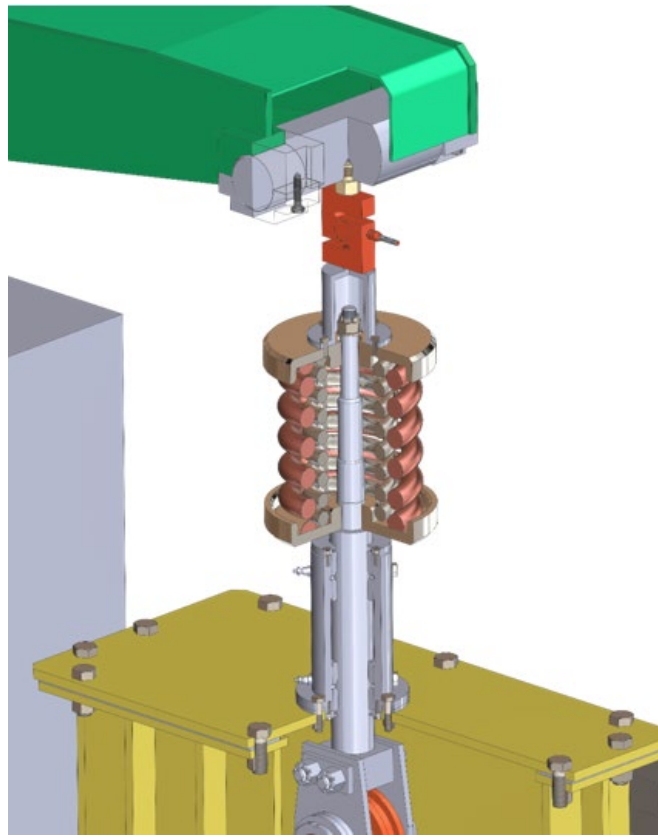


Рис. 1.12 Демпфер

Важелі стенду коробчастої конструкції зварені з листової сталі. Проміжний (рис. 1.13) і головний (рис. 1.14) важелі взаємодіють через розпірку (рис. 1.15).

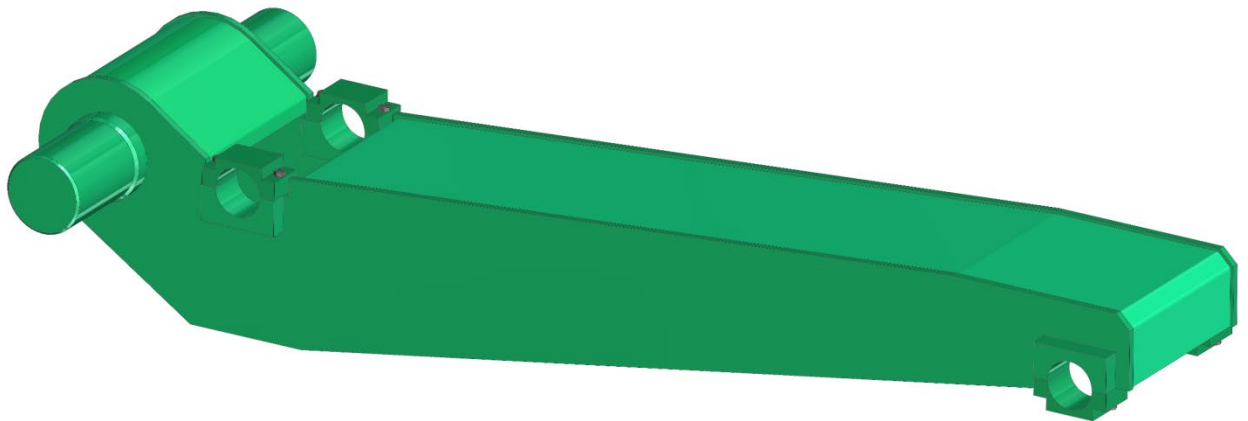
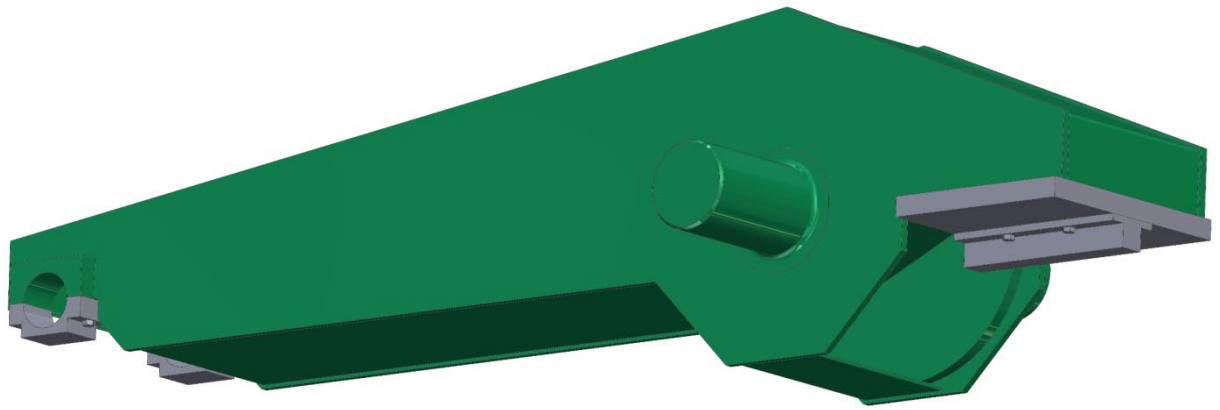


Рис. 1.13 Проміжний важіль

					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Р  
и  
с

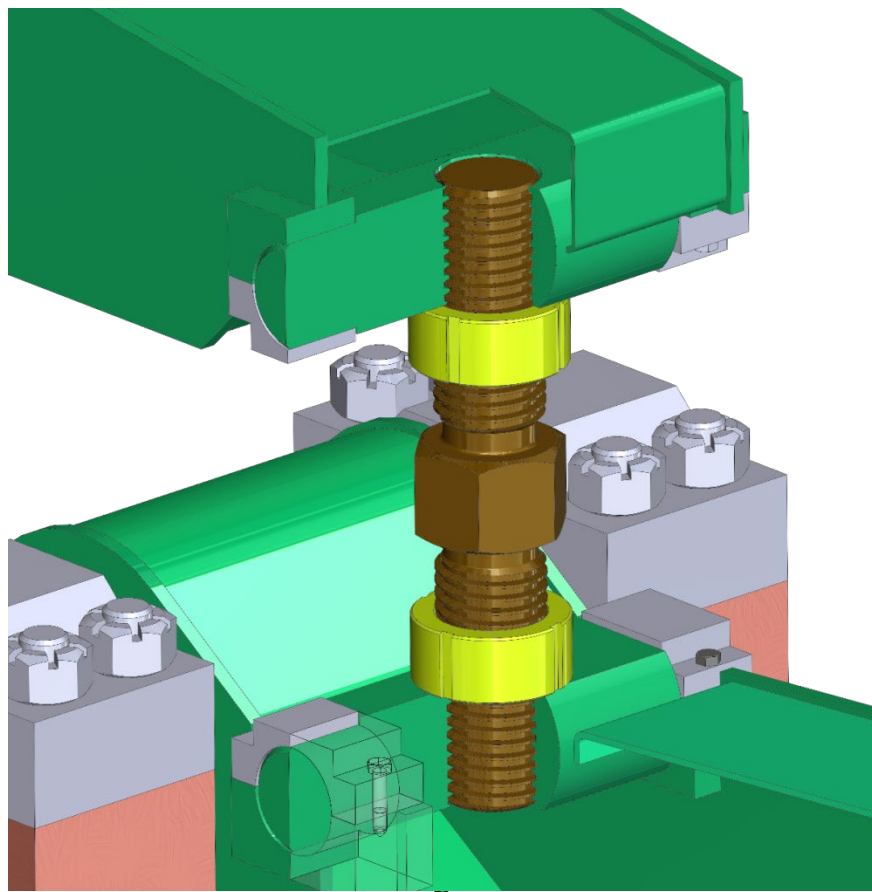


Рис. 1.15 Розпірка

Цапфи важелів встановлені в підшипники ковзання, корпуси яких встановлені зварних колонах (рис. 1.16).

Р  
и  
с  
.  
\  
\*

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

А ДІТ.291000.901КРПЗ

Р

А

Арк.

17

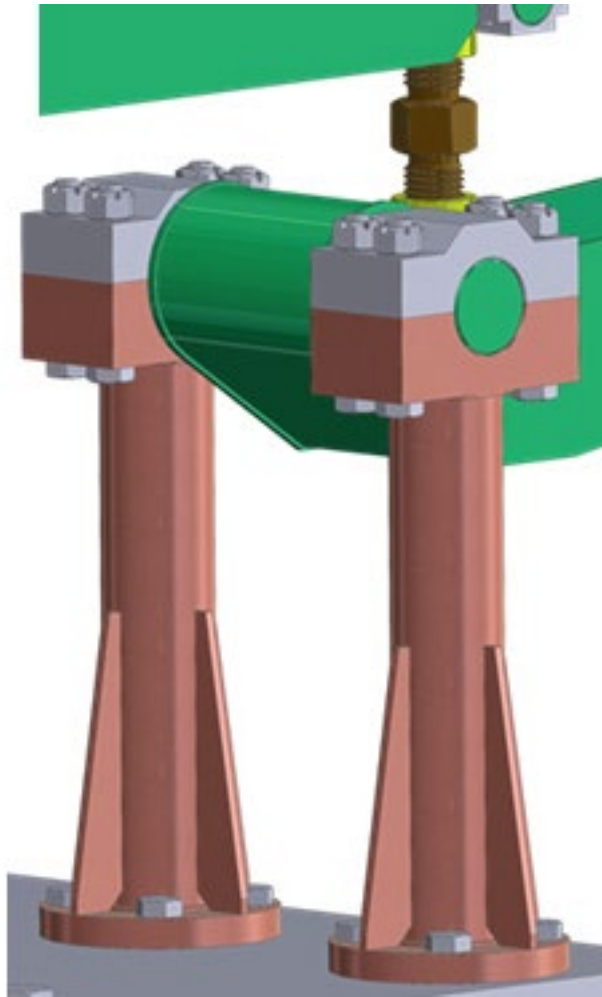


Рис. 1.16 Опори важеля

### 1.3 Об'єкт і завдання роботи

Об'єктом математичного моделювання є важільний стенд, що навантажує вісь, як балку на двох опорах (рис. 1.9). Для побудови моделі стенду необхідно:

- виконати ідеалізацію конструкції стенду;
- розрахувати навантаження, що діють на деталі і вузли стенду;
- сформуванати пружно-масові характеристики стенду;
- побудови математичну модель, яка описує малі коливання стенду;
- створити і налагодити S-модель розрахунку власних частот стенду, за допомогою інструментів візуального програмування Simulink системи MATLAB;
- дослідити вплив маси важелів на власні частоти стенду.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.291000.901КРПЗ

Арк.

18

## 2. РОЗПОДІЛ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДУ

Попередній розрахунок статичних сил, що діють на важелі стенду виконано при наступних припущеннях:

- 1) розглядається плоска конструкція;
- 2) важелі абсолютно жорсткі і розглядають як балки постійного перетину;
- 3) кінематичні з'єднання деталей (важелів) ідеальні;
- 4) сили тертя кінематичних з'єднаннях не враховано;
- 5) помилки виготовлення і збирання стенду відсутні;
- 6) вхідна ланка (важіль) навантажена постійною зосередженою силою.

З урахуванням цих припущень розрахункова схема стенду (рис. 2.1) може бути розглянута як плоска стрижнева рамна конструкція. Важелі складаються з кількох ділянок. Кожна ділянка може мати свої характеристики супротиву згину.

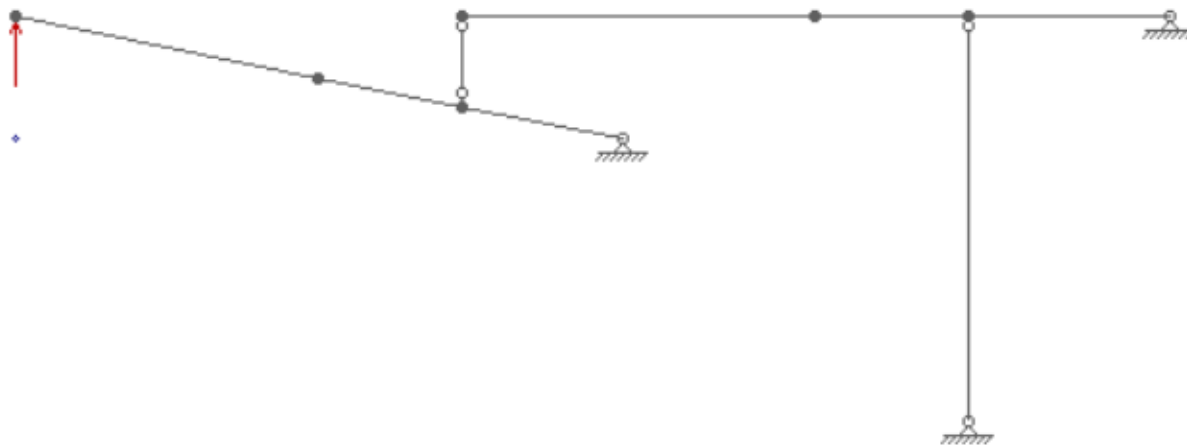


Рис. 2.1 Розрахункова схема

Для автоматизації і прискорення розрахунків використано пакет-програму «Полюс». За допомогою візуальних інструментів складена і навантажена конструкція стенду (рис. 2.2).

					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

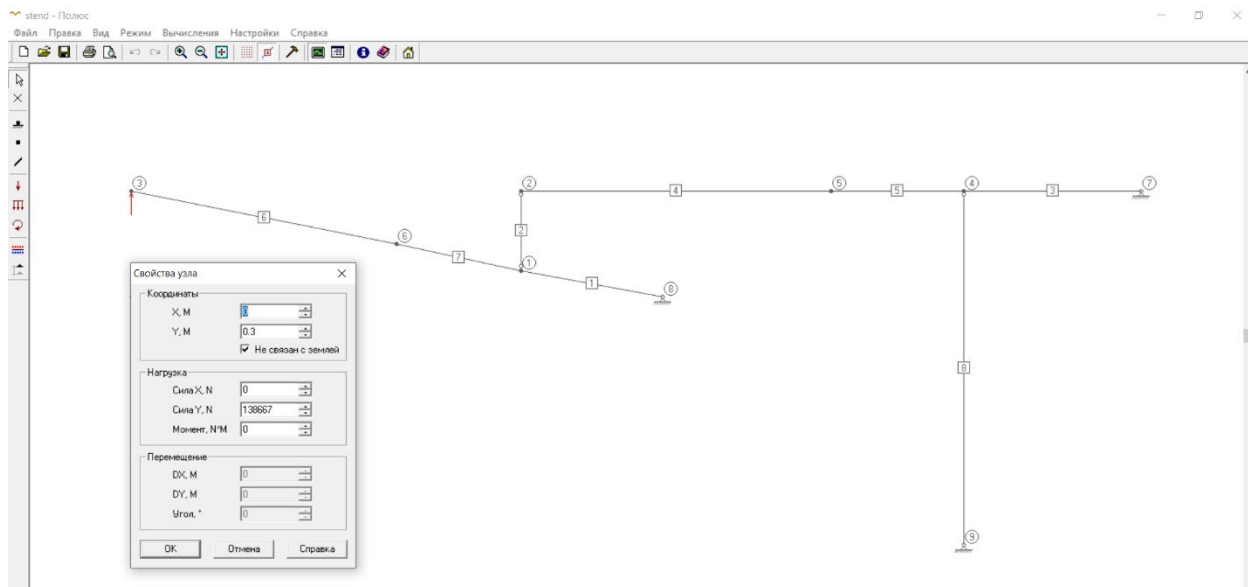


Рис. 2.2 Розрахункова модель силового розрахунку станда

Результатом розрахунку є згинальні моменти (рис. 2.3), поперечні (рис. 2.4) та поздовжні (рис. 2.5) сили, що діють на важелі станду.

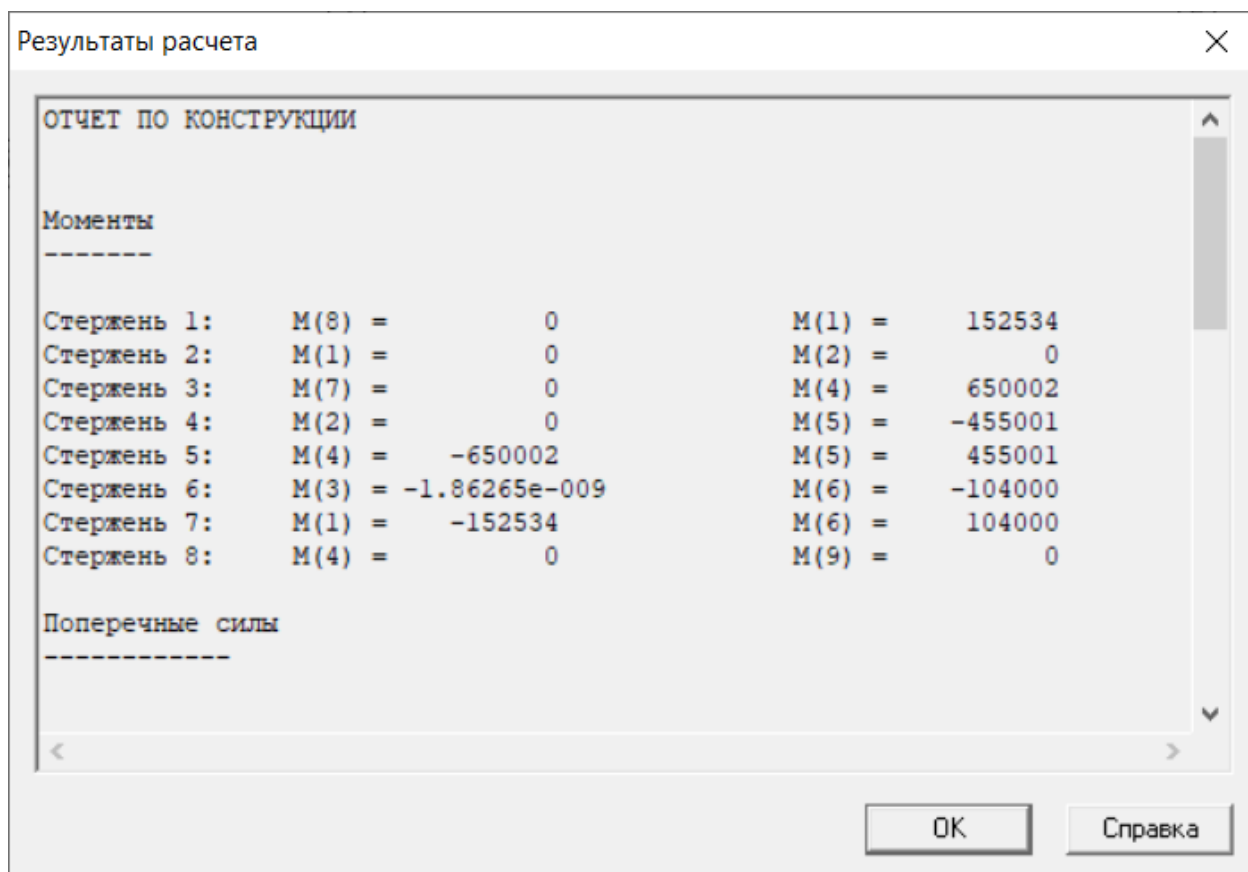


Рис. 2.3 Згинальні моменти

Результаты расчета

Поперечные силы					
Стержень 1:	Q(8) =	-374803	Q(1) =	-374803	
Стержень 2:	Q(1) =	0	Q(2) =	0	
Стержень 3:	Q(7) =	-1.3e+006	Q(4) =	-1.3e+006	
Стержень 4:	Q(2) =	520001	Q(5) =	520001	
Стержень 5:	Q(4) =	520001	Q(5) =	520001	
Стержень 6:	Q(3) =	135974	Q(6) =	135974	
Стержень 7:	Q(1) =	135589	Q(6) =	135589	
Стержень 8:	Q(4) =	0	Q(9) =	0	

Рис. 2.4 Поперечні сили

Результаты расчета

Продольные силы					
Стержень 1:	N(8) =	-70275.5	N(1) =	-70275.5	
Стержень 2:	N(1) =	-520001	N(2) =	-520001	
Стержень 3:	N(7) =	0	N(4) =	0	
Стержень 4:	N(2) =	0	N(5) =	0	
Стержень 5:	N(4) =	0	N(5) =	0	
Стержень 6:	N(3) =	27194.8	N(6) =	27194.8	
Стержень 7:	N(1) =	29054.8	N(6) =	29054.8	
Стержень 8:	N(4) =	0	N(9) =	0	

Рис. 2.5 Поздовжні сили

Програма буде епюри згинальних моментів, поперечних та поздовжніх сил, що діють на важелі стенду.

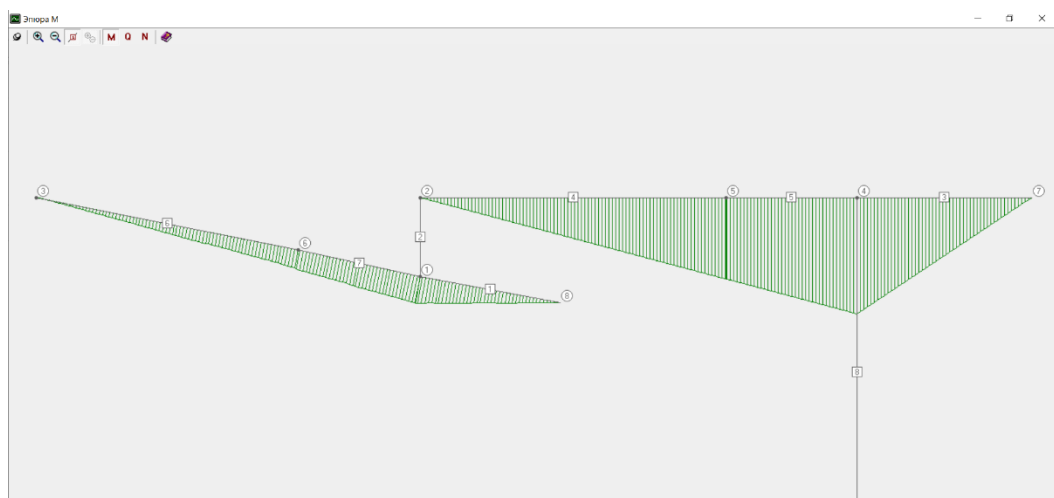


Рис. 2.6 Епюри згинальних моментів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІТ.291000.901КРПЗ

Арк.

21

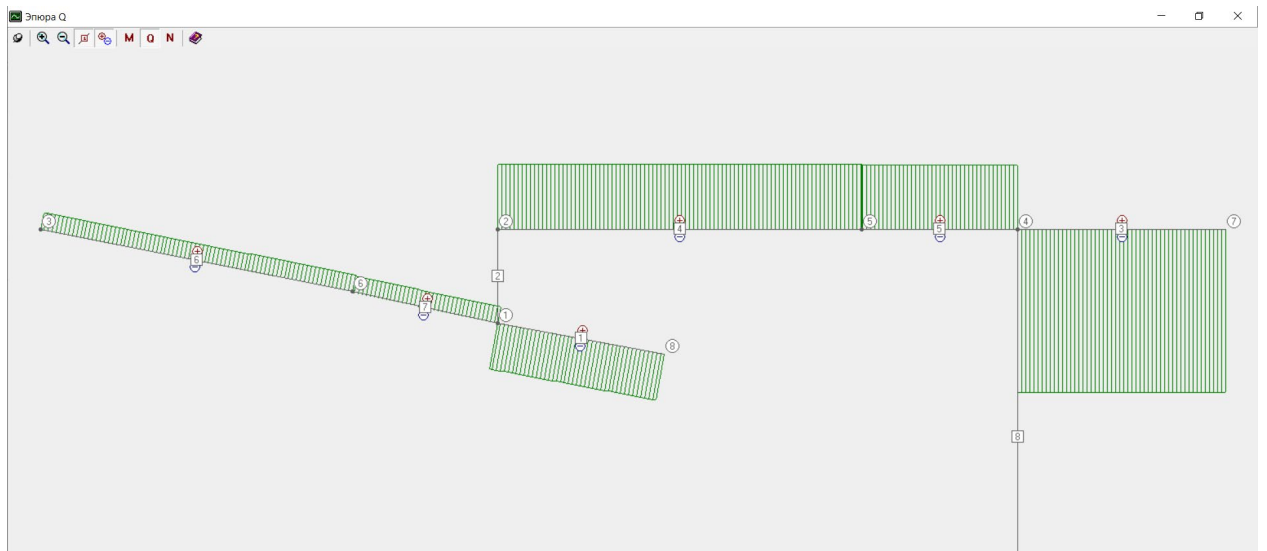


Рис. 2.7 Епюри поперечних сил

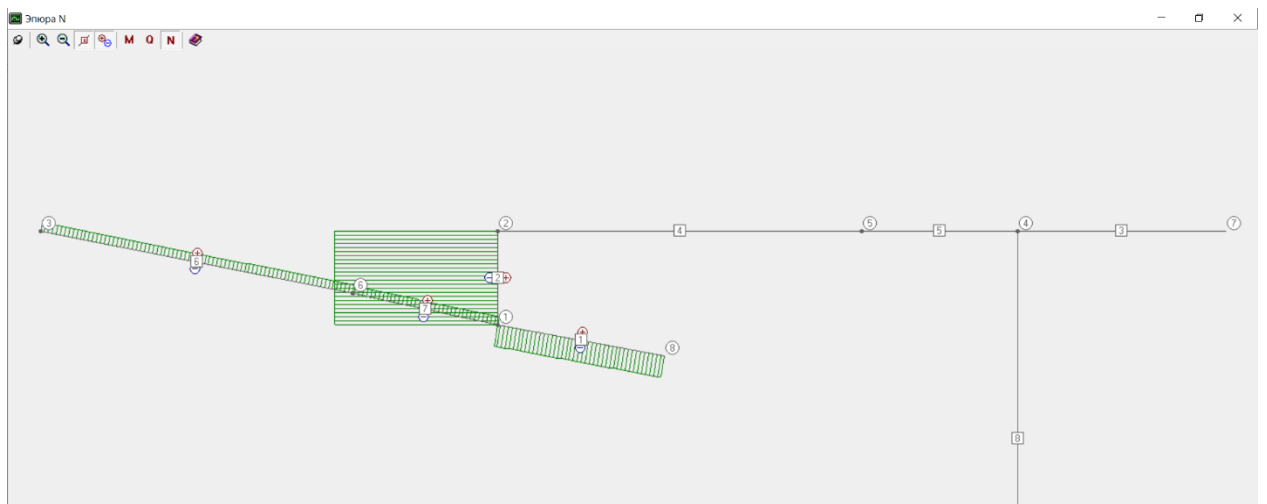


Рис. 2.8 Епюри поздовжніх сил

Передатне відношення важільної системи стенда від збуджувача сили до осі, що випробується дорівнює відношенню поперечної сили в вузлу 7 стрижня 3 до сили збуджувача в вузлу 3 стрижня 6, і складає 9,37.

					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

### 3. ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ СТЕНДУ

Аналітичні дослідження вібраційних процесів, що супроводжують процес випробування осей дозволяють отримати данні для удосконалення конструкції стенду, зменшити час і вартість проектувальних робіт. Методика виконання моделювання коливань стенду базується на фундаментальних дослідженнях динаміки машин. Інструментом імітаційного моделювання прийнятий пакет Simulink, який є розширенням до інтерактивної системи MATLAB.

MATLAB - це система математичного моделювання, що забезпечує проведення досліджень практично у всіх відомих галузях науки та техніки. При цьому структура системи дозволяє ефективно поєднувати обидва основні підходи до створення моделі: аналітичний та імітаційний. MATLAB має найбагатшу бібліотеку функцій (їх близько 800).

SIMULINK це система візуального моделювання різних об'єктів та процесів, як дискретних та і безперервних. SIMULINK можна розглядати як самостійний продукт фірми Math Works, однак він працює тільки при наявності ядра MATLAB і використовує багато функцій, що входять до його складу. Майже всі розділи MATLAB містять засоби візуалізації моделювання, що реалізуються за допомогою SIMULINK. Тому включення до робочої конфігурації будь-якого розділу призводить до поповнення бібліотеки блоків SIMULINK. Всі блоки, включені до складу бібліотеки, можуть бути використані при розробці будь-якої моделі незалежно від того, до якого розділу MATLAB належить кожен з них.

										Арк.
										23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДІТ.291000.901КРПЗ					

### 3.1 Математична модель коливань стенду

У першому наближенні побудова математичної моделі коливань стенду [ (10)] було виконано як для простої коливальні системи с масами  $m_1$  і  $m_2$  (рис. 3.1). Лінійні переміщення цих мас відбуваються по узагальнених координатах  $q_1$  і  $q_2$ .

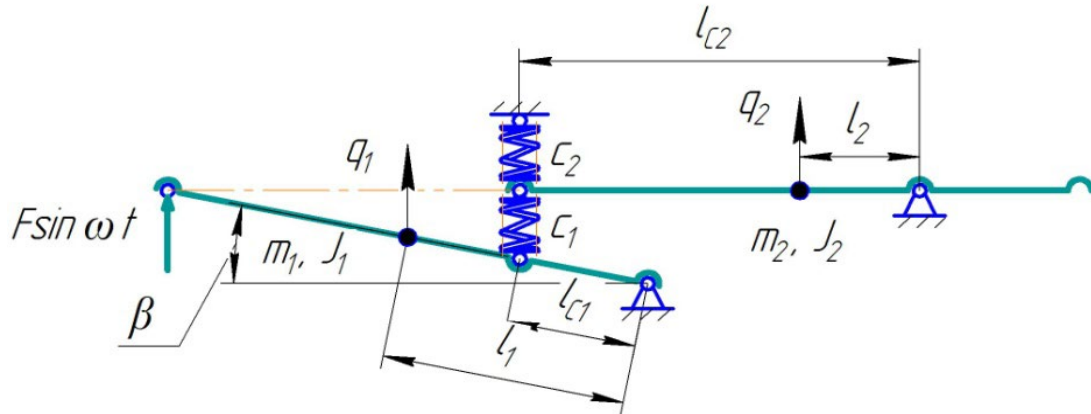


Рис. 3.1 Розрахункова схема стенда

Диференціальні рівняння руху важелів стенду складені у формі рівнянь Лагранжа [ (11)] складені при наступних припущеннях:

- розглядаються малі коливання системи важелів стенду;
- система консервативна;
- маси важелів стенду - зосереджені;
- масою штовхача 2 (див. рис. 3.1.) нехтуємо через її малість;
- пружні елементи системи мають лінійні характеристики;
- жорсткості пружних елементів рівні жорсткості відповідних важелів стенду.

Відповідно до прийнятих допущеннями для сталого режиму роботи отримана наступна система рівнянь руху важелів стенду:

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{q}_1 + c_{11}q_1 + c_{12}q_2 = F' \sin \omega t; \\ a_{22}\ddot{q}_2 + c_{21}q_1 + c_{22}q_2 = 0, \end{cases} \quad (3.1)$$

де  $a_{11} = m_1 + \frac{J_1}{(l_1 \cos \beta)^2}$ ,  $a_{22} = m_2 + \frac{J_2}{l_2^2}$  – інерційні коефіцієнти системи;

$$c_{11} = c_1 \left( \frac{l_{c1} \cos \beta}{l_1} \right)^2, \quad c_{12} = -c_1 \frac{l_{c1} l_{c2} \cos \beta}{l_1 l_2}, \quad c_{21} = c_{12}; \quad c_{22} = (c_1 + c_2) \left( \frac{l_{c2}}{l_2} \right)^2 -$$

пружні коефіцієнти системи;  $m_1, m_2$  – маси важелів приводу і осі;  $J_1, J_2$  – моменти інерції важелів приводу і осі;  $c_1, c_2$  – жорсткості важелів приводу і осі;  $l_1, l_2$  – відстані від осей обертання важелів до їх центрів мас;  $l_{c1}, l_{c2}$  – відстані від осей обертання важелів до пружних елементів;  $\beta$  – кут нахилу важеля приводу;  $F' = 2F$  – приведена до центру мас важеля амплітуда сили навантаження;  $\omega$  – частота навантаження системи;  $t$  – час.

Частотне рівняння системи (3.1)

$$a_{11} a_{22} p^4 - (a_{11} c_{22} + a_{22} c_{11}) p^2 + c_{11} c_{22} - c_{12}^2 = 0. \quad (3.2)$$

або

$$Ap^4 + Bp^2 + C = 0, \quad (3.3)$$

де  $A = a_{11} a_{22}$ ;  $B = -(a_{11} c_{22} + a_{22} c_{11})$ ;  $C = c_{11} c_{22} - c_{12}^2$ .

Позитивні коріння біквadratних рівняння (3.2) є власними частотами стенду.

У більш точної моделі коливань ланок стенду враховуються фактичні відхилення і поворот центрів мас важелів від положення рівноваги (рис. 3.2).

Для уточненої моделі загальний вигляд системи рівнянь руху залишається без змін, але інерційні і пружні коефіцієнти у неї інші:

$$\begin{cases} a'_{11} \ddot{q}_1 + c'_{11} q_1 + c'_{12} q_2 = F' \sin \omega t; \\ a'_{22} \ddot{q}_1 + c'_{21} q_1 + c'_{22} q_2 = 0, \end{cases} \quad (3.4)$$

де  $a'_{11} = m_1 + J_1 k_{\theta m1}^2$ ,  $a'_{22} = m_2 + J_2 k_{\theta m2}^2$  – інерційні коефіцієнти системи;

$$c'_{11} = c_1 \left( \frac{k_{F1}}{\cos \beta} \right)^2, \quad c'_{12} = -c_1 \frac{k_{F1} k_{F2}}{\cos \beta}, \quad c'_{21} = c'_{12}, \quad c'_{22} = (c_1 + c_2) k_{F2}^2 -$$

пружні коефіцієнти системи;  $k_{\theta m1} = \frac{\theta_1}{q_1} \text{ м}^{-1}$ ,  $k_{\theta m2} = \frac{\theta_2}{q_2} \text{ м}^{-1}$  – коефіцієнти впливу

						ДПТ.291000.901КРПЗ	Арк.
							25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

переміщень центрів мас на кут їх повороту;  $k_{F1} = \frac{\Delta_{C1}}{q_1}$ ,  $k_{F2} = \frac{\Delta_{C2}}{q_2}$  – коефіцієнти впливу переміщень центрів мас на деформацію пружних елементів системи.

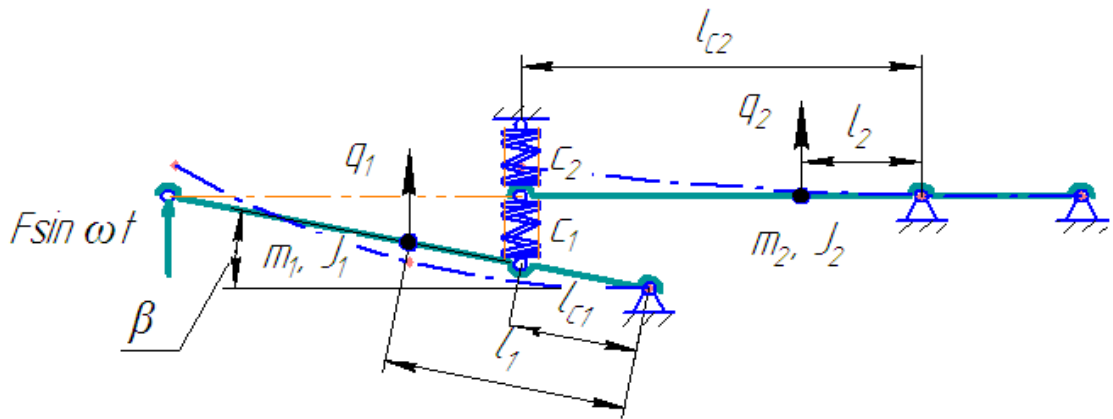


Рис. 3.2 Розрахункова схема стенду

Частотне рівняння системи (3.3)

$$a'_{11}a'_{22}p^4 - (a'_{11}c'_{22} + a'_{22}c'_{11})p^2 + c'_{11}c'_{22} - c'_{12}{}^2 = 0. \quad (3.5)$$

або

$$Ap^4 + Bp^2 + C = 0, \quad (3.6)$$

де  $A = a'_{11}a'_{22}$ ;  $B = -(a'_{11}c'_{22} + a'_{22}c'_{11})$ ;  $C = c'_{11}c'_{22} - c'_{12}{}^2$

### 3.2 Параметри важелів стенду

Інерційні параметри важелів стенду надані без зміни їх довжини. Масу важелів стенду змінено за рахунок пропорційного збільшення товщини їх стінок. Інерційні параметри важелів зведені до таблиці 3.1.

Жорсткість важеля 1 визначено як жорсткість двохопорної балки, що завантажена зосередженою силою (рис. 3.3)

$$c_1 = \frac{F}{y_F},$$

де  $y_F = \frac{Fa^2b^2}{3EI}$  - прогін важеля під силою  $F$  [14].

									Арк.
									26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

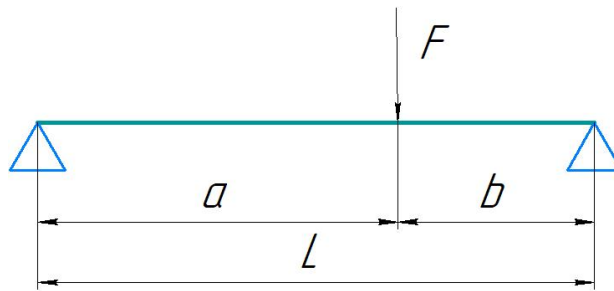


Рис. 3.3 Схема навантаження важеля 1

Жорсткість важеля 3 визначено як жорсткість двохопорної балки з консоллю, що завантажена зосередженою силою  $F_1$  (рис. 3.4)

$$c_2 = \frac{F_1}{y_F},$$

де  $y_C = \frac{F_1 c^2 (l + c)}{3EI}$  - прогін важеля під силою  $F_1$ .



Рис. 3.4 Схема навантаження важеля 3

Результати варіантних розрахунків жорсткості важелів наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Вихідні характеристики важелів стенду

№	Маса важеля, кг		Момент інерції важеля, кг·м <sup>2</sup>		Жорсткість важеля, МН/м		Товщина стінок важеля, мм		Площа перерізу важеля, см <sup>2</sup>	
	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
1	136,5	388	26,6	98,9	639	204	12	20	114	284
2	168,3	478	32,8	122	772	245	15	25	141	350
3	188,6	531	36,8	136	856	269	17	28	158	389
4	219,6	616	42,8	157	973	305	20	33	184	451

### 3.3 S-модель розрахунку власних частот стенду

Для визначення значень власних частот коливань за допомогою інструменті візуального програмування додатку Simulink [ (12), (13)] системи Matlab [ (14)] створена s-модель (рис. 3.5) пошуку коренів біквдратних рівнянь (3.3) і (3.6). Пружно-масові характеристики стенду знаходяться у компонентах *Consists* бібліотеки Source Simulink. *Consists* мають відповідні ім'я прийнятим позначенням у рівняння руху стенду (3.1). До складу s-модель також входять багато компонентів з бібліотеки Math Operations: *Sum* – складання (віднімання); *Product* та *Divide* – операції множення та розподіл; *Gain* – множник; *Sqrt* – обчислює корінь квадратний; *Math Function* – забезпечує виконання різних математичних функцій (у моделі це  $u^2$ ); *Trigonometric Function* – обчислює тригонометричні функції. З бібліотеки Signal Routing задіяні компоненти *From* та *Goto*, забезпечують переходи при обчислюваннях. Для відображення результатів розрахунків з бібліотеки Sinks був використаний компонент *Display*.

					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

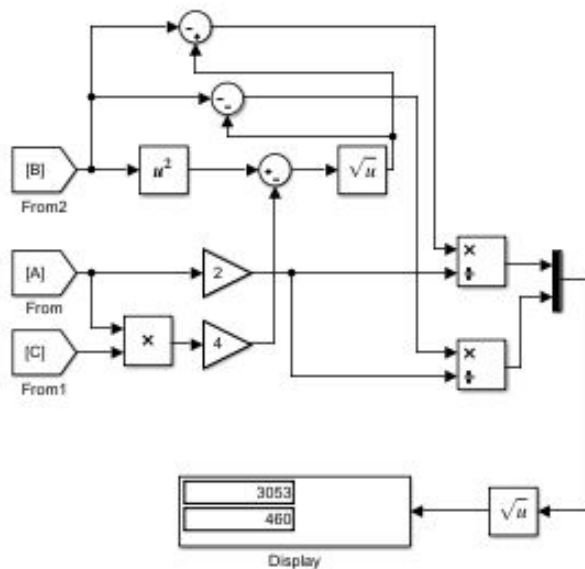
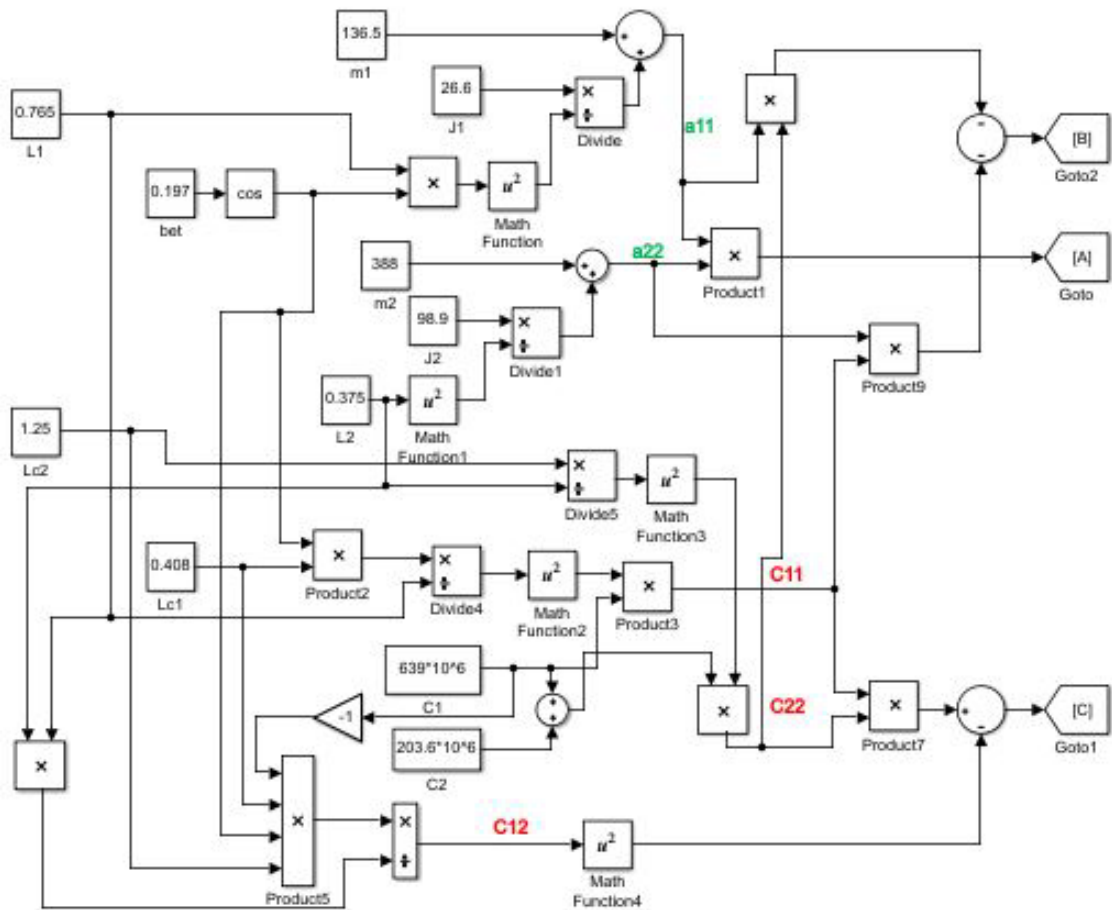


Рис. 3.5 S-модель визначення значень власних частот коливань

Результати розрахунків власних частот коливань стелю за схемою (рис. 3.1) та характеристиками, що завдані (таблиця 3.1) зведені до таблиці 3.2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 3.2

## Власні частоти коливань стенду

№	Маса важелів загальна, кг	$P_{01}$ , рад/с	$P_{02}$ , рад/с
1	524,5	460	3053
2	646,3	455	3022
3	719,6	450	3013
4	835,6	445	2983
5	905,9	440	2970

Залежність власних частот коливань стенду від маси важелів по-перше має майже лінійний характер; по друге – практично лишаються незмінними з ростом маси важелів (рис. 3.6).

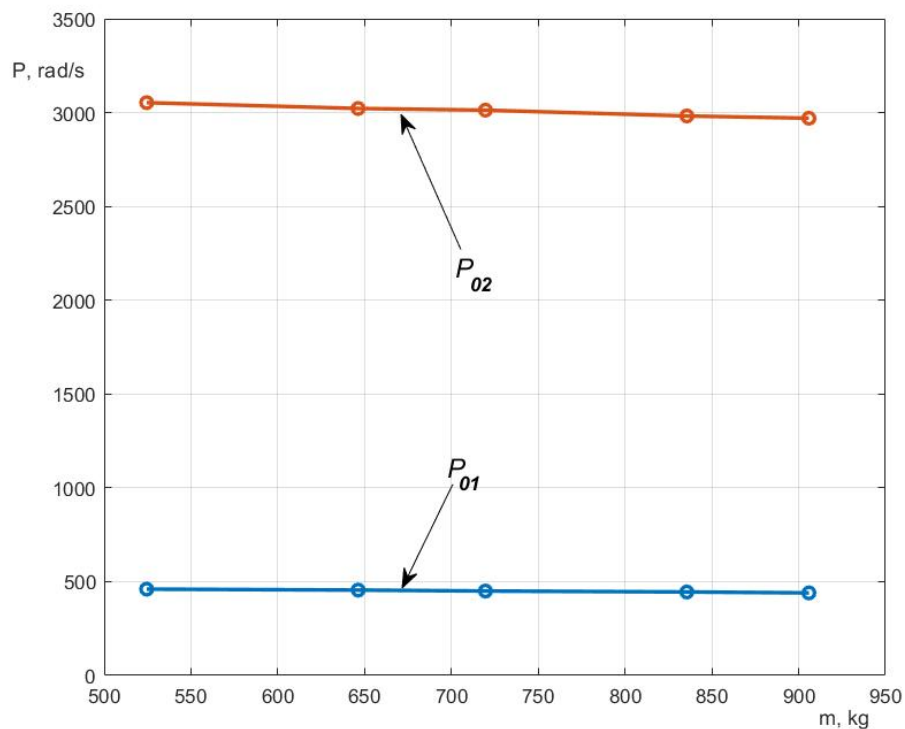


Рис. 3.6 Залежність власних частот коливань стенду від маси важелів при спрощеній розрахунковій схемі (рис. 3.1)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

#### 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ І ДІЙ ПРИ ЗНАХОДЖЕННІ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

4.1 Захист інтересів суб'єктів подання звітності та інших документів у період дії воєнного стану або стану війни

1) ФО, ФОП, юр. особи, крім тих, які наділені бюджетними повноваженнями згідно, подають звіти та будь-які інші документи відповідно до норм чинного законодавства, протягом трьох місяців після припинення чи скасування воєнного стану або стану війни за весь період неподання звітності чи обов'язку подати документи[ (15)];

2) у період дії воєнного стану або стану війни, а також протягом трьох місяців після його завершення до ФО, ФОП, юр. особи не застосовується ніяка відповідальність за неподання чи несвоєчасне подання звітності;

3) якщо фізичної можливості протягом строку, визначеного Законом, подати звітність нема, у зв'язку з безпосередніми участі у бойових діях, то будь-яка відповідальність не застосовується та подається звітність протягом одного місяця з дня закінчення наслідків, які унеможлилювали їх подання;

4) під час воєнного стану або стану війни будь-які перевірки щодо своєчасності та повноти подання будь-яких звітів уповноваженими органами не здійснюються;

4<sup>1</sup>) у період дії воєнного стану або стану війни, а також протягом трьох місяців після його припинення чи скасування особи, відповідальні за своєчасне і у повному обсязі подання та оприлюднення фінансової звітності, звільняються від відповідальності за порушення строків оприлюднення річної фінансової звітності та річної консолідованої фінансової звітності разом з відповідними аудиторськими звітами, звітом про управління, консолідованим звітом про управління, звітом про платежі на користь держави та консолідованим звітом про платежі на користь держави, складення та оприлюднення яких передбачено законодавством;

{Пункт 1 доповнено підпунктом 4-1 згідно із Законом [№ 2436-IX від 19.07.2022](#)}

										ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
											31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							





на товари, які мають істотну соціальну значущість, тільки на підставі рішення центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у відповідній сфері. Зокрема, на підставі наказу Міністерства економіки України від 02.04.2022 № 679 «Про рішення щодо проведення позапланових заходів державного нагляду (контролю) протягом періоду воєнного стану» Держпродспоживслужбі дозволено під час воєнного стану перевіряти бізнес з питань встановлення цін на соціально значущі товари [18].

#### 4.5 Порядок проведення медико-соціальної експертизи на період дії воєнного стану на території України

На період дії воєнного стану на території України та протягом шести місяців після його припинення або скасування діють такі оновлення: якщо особа, що звертається для встановлення інвалідності, не може прибути на огляд до медико-соціальної експертної комісії, така комісія може приймати рішення про встановлення інвалідності заочно на підставі направлення лікарсько-консультативної комісії, а також обласні, міські, міжрайонні та районні медико-соціальні експертні комісії забезпечують проведення медико-соціальної експертизи за направленням лікарсько-консультативної комісії незалежно від місця реєстрації, проживання або перебування особи, що звертається для встановлення інвалідності.

Медико-соціальна експертиза осіб, що звертаються для встановлення інвалідності, які за станом здоров'я не можуть з'явитися на засідання комісії, проводиться: за місцем їх проживання; у стаціонарних відділеннях центрів соціального обслуговування, тимчасового проживання в закладах соціального захисту для безпритульних громадян та центрах соціальної адаптації осіб, звільнених з місць позбавлення волі, або в стаціонарі, де така особа перебуває на лікуванні. Рішення щодо продовження тимчасової непрацездатності (за її наявності) таких осіб приймає без направлення на медико-соціальну експертизу лікуючий лікарем або лікарсько-консультативна комісія, а направлення лікарем чи лікарсько-консультативною комісією на медико-

										Арк.
										34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДІТ.291000.901КРПЗ					

соціальну експертизу здійснюється не пізніше ніж через місяць після припинення або скасування воєнного стану [19].

#### 4.6 Вибухонебезпечні предмети і правила поведінки у разі їх виявлення

##### Вибухонебезпечні предмети:

- хімічні з'єднання або суміші, здатні під впливом певних зовнішніх дій (нагрівання, удар, тертя, вибух іншого вибухового пристрою) до швидкого хімічного перетворення, що само розповсюджується, з виділенням великої кількості енергії і утворенням газів.
- боєприпаси – вироби військової техніки одноразового вживання, призначені для враження живої сили супротивника.

##### Види боєприпасів:

- бойові частки ракет;
- авіаційні бомби;
- артилерійські боєприпаси (снаряди, міни);
- інженерні боєприпаси (протитанкові і протипіхотні міни);
- ручні гранати;
- стрілецькі боєприпаси (набої до пістолетів, карабінів, автоматів тощо);
- піротехнічні засоби, до яких відносять: патрони (сигнальні, освітлювальні, імітаційні, спеціальні); вибухові пакети; петарди;
- ракети (освітлювальні, сигнальні): гранати; димові шашки.
- саморобні вибухові пристрої: саморобні міни-пастки; міни-сюрпризи, що імітують предмети домашнього побуту, дитячі іграшки або речі, що привертають увагу.

Зазвичай, при знаходженні серійних мін, снарядів, гранат дорослі негайно викликають фахівців, які огорожують район і знешкоджують небезпечні знахідки.

					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Опинившись поблизу вибуху, потрібно стримати свою цікавість і не намагайтеся наблизитись до епіцентру, щоб розгледіти або допомогти рятувальникам. Найкраще, що можна зробити – залишити небезпечне місце. До того ж, варто знати, що зловмисники часто встановлюють вибухові пристрої парами, щоб, через деякий час після вибуху першої з них, пролунав другий вибух. Зловмисники розраховують на те, що після першого вибуху на його місці зберуться люди, у тому числі й представники силових структур, і при повторному вибуху жертв буде набагато більше [20].

					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





Transport” (EOT-2019). 2019 p. T. 294. Article Number 03008.  
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201929403008>.

11. Пановко, Г.Я. Введение в теорию механических колебаний / Г.Я. Пановко . – М. : Наука. Главн. ред. физ-мат. лит., 1980. – 272 с.

12. Дьяконов В. (2002). Simulink 4: Специальный справочник. СПб.: Питер, 2002. – 528 с.

13. Дьяконов В. (2008). Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.

14. Дьяконов В. (2012). MATLAB. Полный Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2012. – 768 с.

15. ЗАКОН УКРАЇНИ "Про захист інтересів суб'єктів подання звітності та інших документів у період дії воєнного стану або стану війни". Верховна Рада України. [Онлайновий] 06 05 2023 р. [Цитовано: 19 08 2023 р.] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2115-20#Text>.

16. ЗАКОН УКРАЇНИ "Про організацію трудових відносин в умовах воєнного стану". Верховна Рада України. [Онлайновий] 19 07 2022 р. [Цитовано: 19 08 2023 р.] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2136-20#Text>.

17. Постанова КМУ від 28.02.2022 № 165 «Про зупинення строків надання адміністративних послуг та видачі документів дозвільного характеру». [Онлайновий] 12 07 2023 р. [Цитовано: 19 08 2023 р.] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/165-2022-%D0%BF#Text>.

18. Постанова КМУ від 13.03.2022 № 303 «Про припинення заходів державного нагляду (контролю) і державного ринкового нагляду в умовах воєнного стану». Верховна Рада України. [Онлайновий] 17 08 2023 р. [Цитовано: 19 08 2023 р.] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/303-2022-%D0%BF#Text>.

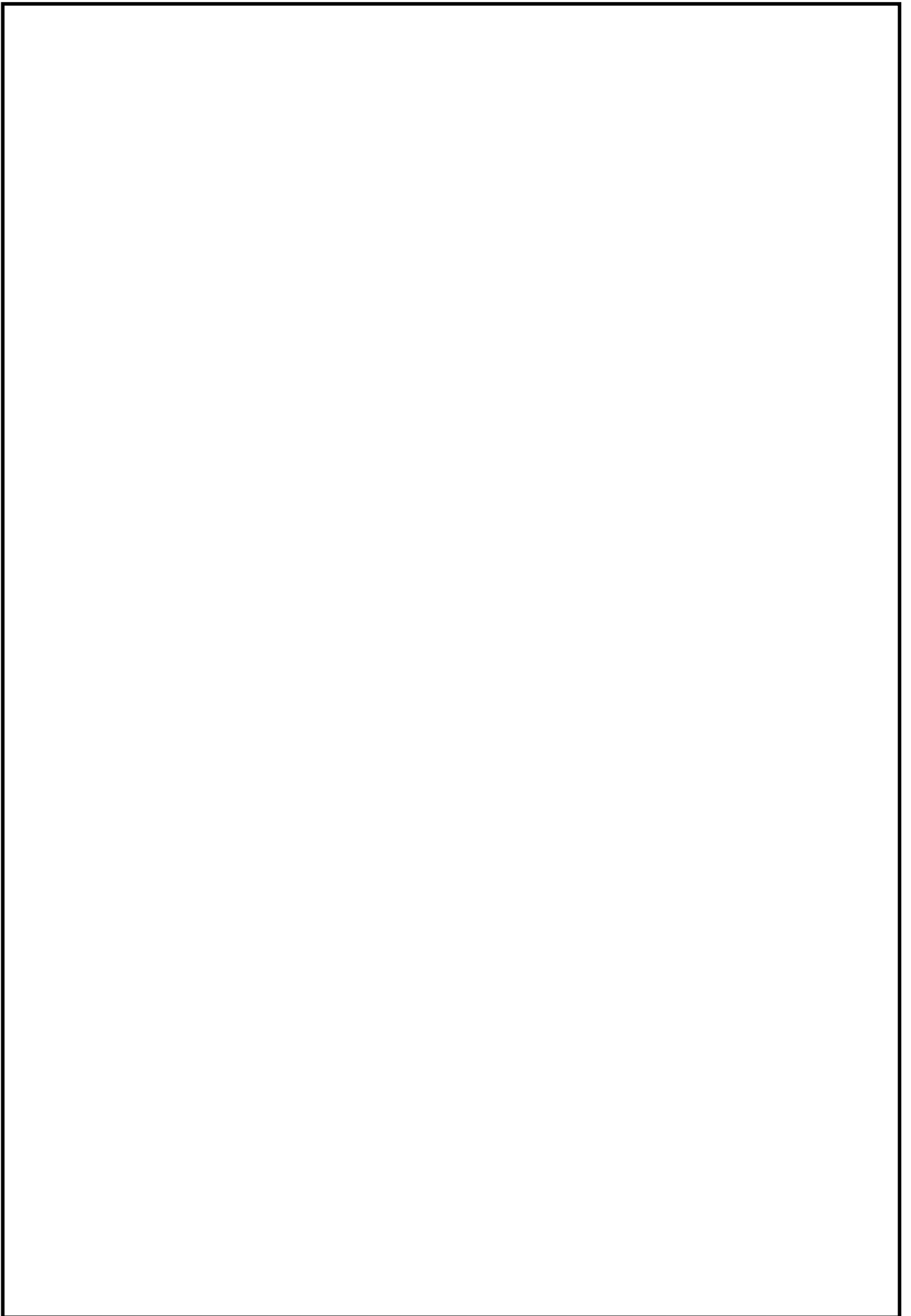
19. Постанова КМУ від 08.03.2022 № 225 «Деякі питання порядку проведення медико-соціальної експертизи на період дії воєнного стану на території України». Верховна Рада України. [Онлайновий] 31 03 2022 р. [Цитовано: 19 08 2023 р.] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/225-2022-%D0%BF#Text>.

										Арк.
										40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

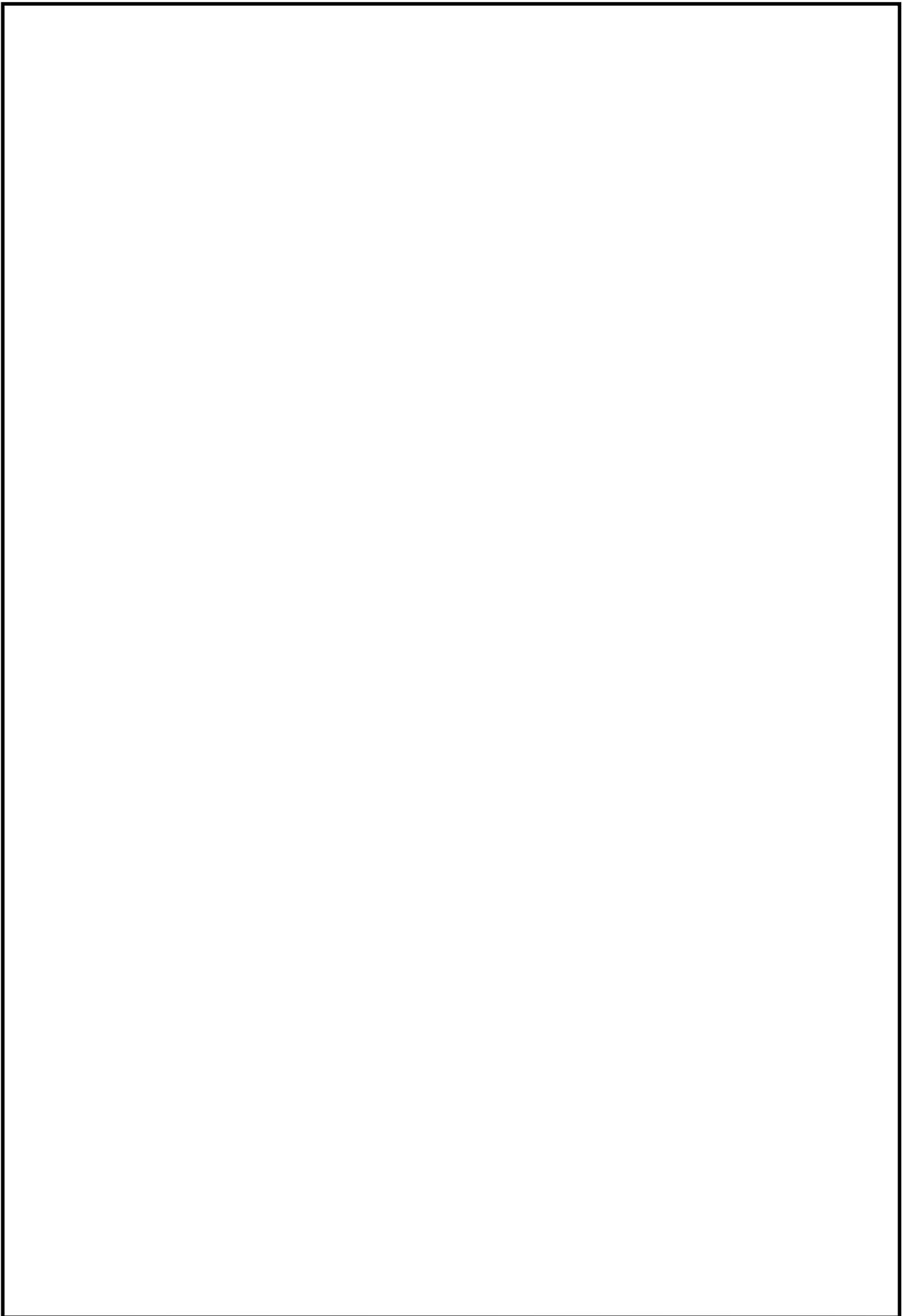
20. Інформація про вибухонебезпечні предмети і правила поведінки у разі їх виявлення. Національний педагогічний університет імені М.П.Драгоманова [Онлайновий]. [Цитовано: 09 12 2023 р.].

<https://npu.edu.ua/novyny/oholoshennia/zahalnounivesytetski/informatsiia-pro-vybukhonebezpechni-predmety-i-pravyly-povedinky-u-razi-ikh-vyiavlennia>

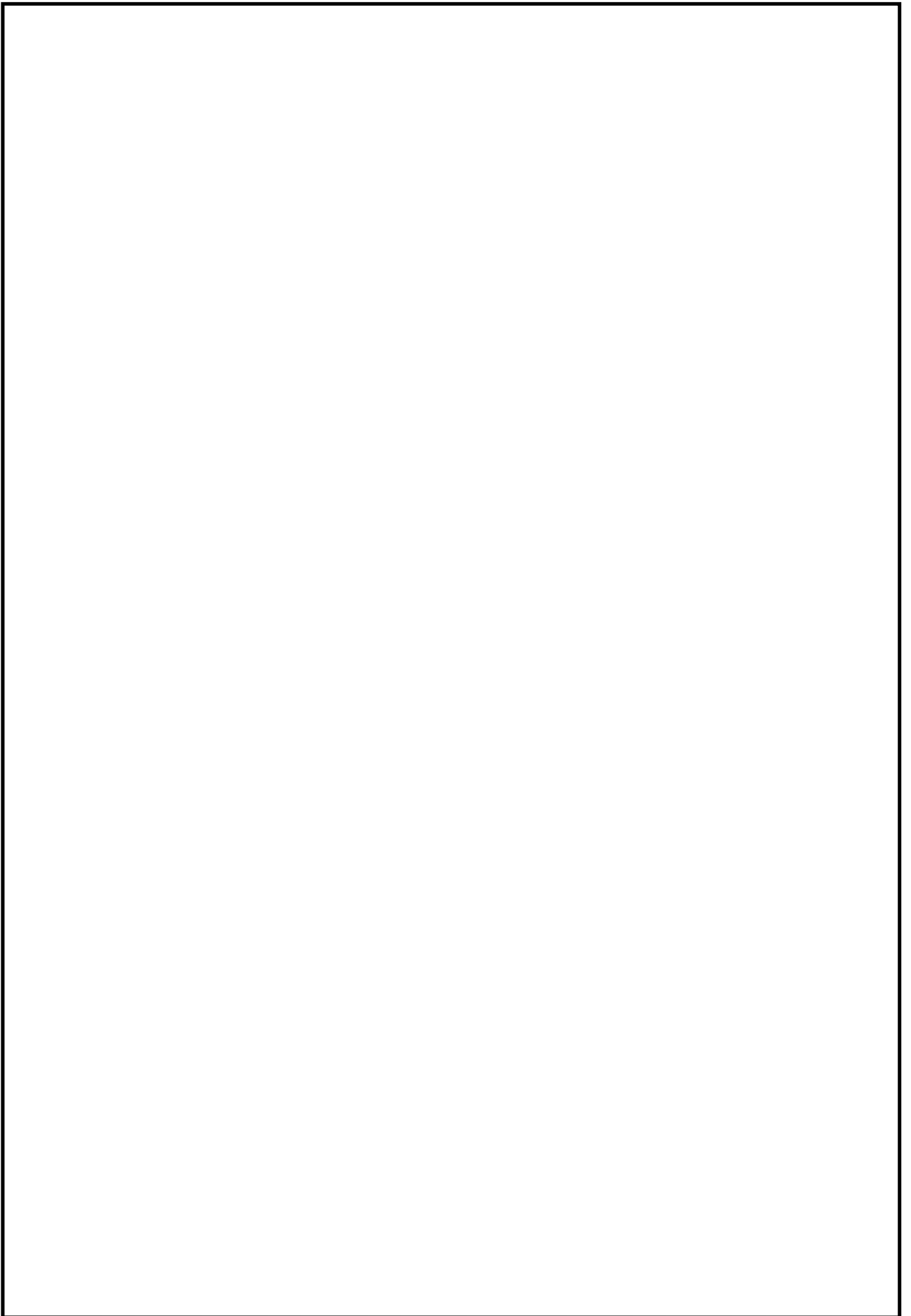
					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
						42
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
						43
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



					ДІТ.291000.901КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44