

Міністерство освіти та науки України
Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Інженерний навчально-науковий інститут
(назва факультету)
кафедра металургійного обладнання
(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

На тему Аналіз коливань електродів ДСП в горизонтальній площині

Виконав: магістрант групи 8.1332-дн

Шупік О.О.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

Керівник Власов А.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут .

Кафедра металургійного обладнання .

Рівень вищої освіти магістр .
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування .
(шифр і назва)

Спеціалізація _____ .
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання .
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою Й.К. Огінський

“ _____ ” _____ 20__ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Шупіку Олександр Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Аналіз коливань електродів ДСП в горизонтальній площині
керівник магістерської роботи к.т.н., доцент Власов А.О.,
затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” жовтня 2023 року № 1581-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 20 лютого 2024 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи печі ДСП-50
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд і аналіз науково-технічних рішень підвищення енергоефективності механізмів приводу переміщення візка машини чищення виливниць та обґрунтування обраного напрямку роботи; 2. Розрахункова частина; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації .
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Переріз електросталеплавильного цеху – 1А1; 2. ДСП-50 – 1А1; 3. Механізм переміщення електродів – 1А1; 4. Дослідження гасіння механічних коливань електродотримача ДСП-50 при кутах клинів демпфера 45° – 1А1 5. Дослідження гасіння механічних коливань електродотримача ДСП-50 при кутах клинів демпфера 30° – 1А1; 6. Фізична модель гасителя коливань – 1А1; 7. Вплив кута тертя на амплітуду та час затухання коливань – 1А1; 8. Схема спринклерної установки повітряно-пінного гасіння – 1А1.

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Власов А.О., к.т.н, доцент		
2	Власов А.О., к.т.н, доцент		
3	Власов А.О., к.т.н, доцент		
4	Власов А.О., к.т.н, доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проектування	01.05.20 – 27.05.20	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	01.09.20 – 15.09.20	
3	Виконання теоретичної частини проекту	16.09.20 – 16.10.20	
4	Виконання графічної частини проекту	17.10.20 – 17.11.20	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	18.11.20 – 30.11.20	
6	Перевірка проекту консультантами	01.12.20 – 08.12.20	
7	Попередній захист проекту	09.12.2020	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	25.12.2020	

Студент _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шупік О. О. Аналіз коливань електродів ДСП в горизонтальній площині.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник А.О. Власов. Запорізький національний університет, інженерний навчально-науковий інститут, кафедра металургійного обладнання, 2024.

Виконано аналіз існуючих способів зниження коливань системи електродотримачів, їх переваги та недоліки. Глибоко розглянута система балансірного електродотримача. Проведений аналіз можливості використання клинової демпферної системи сухого тертя. Виконані експерименти з клинами різних кутів. Виконана математичну обробку отриманих результатів. Побудовані залежності загасання амплітуд в часі при різних кутах клинів ($\alpha = 45^\circ, 30^\circ$) і різних зусиллях підтискання пружин.

Аналіз результатів показав, що кут клинів $\alpha = 45^\circ$ непридатний для вирішення поставленого завдання, тому що час загасання збільшується в 1,6 рази в порівнянні з кутом $\alpha = 30^\circ$.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОДОТРИМАЧ, ТРИАНГУЛЬОВАНА СИСТЕМА, ПЕРЕМІЩЕННЯ, АМПЛІТУДА І ЧАСТОТА КОЛИВАННЯ, ПЕРІОД ЗАТУХАННЯ, ДЕМПФЕР, ДИНАМІЧНА СИСТЕМА.

ABSTRACT

Shupik O.O. Analysis of chipboard electrode vibrations in the horizontal plane.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 133 - Industrial Engineering, supervisor A.O. Vlasov. Zaporizhzhya National University, Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Metallurgical Equipment, 2024.

The analysis of existing ways to reduce oscillations of the system of electrode holders, their advantages and disadvantages is performed. The system of the balancing electrode holder is deeply considered. The analysis of the possibility of using a wedge damping system of dry friction is carried out. Experiments with

wedges of different angles were performed. Mathematical processing of the obtained results is performed. Dependences of attenuation of amplitudes in time at different angles of wedges ($\alpha = 45^\circ, 30^\circ$) and various efforts of compression of springs are constructed.

Analysis of the results showed that the angle of the wedges $\alpha = 45^\circ$ is not suitable for solving the problem, because the damping time increases by 1.6 times compared to the angle $\alpha = 30^\circ$.

Key words: ELECTRIC HOLDER, TRIANGULATED SYSTEM, DISPLACEMENT, AMPLITUDE AND FREQUENCY OF OSCILLATION, DAMAGE PERIOD, DAMPHER, DYNAMIC.

Зміст

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	8
Вступ	9
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ЕЛЕКТРОДОТРИМАЧІВ ПЕЧЕЙ СЕРІЇ ДСП	11
1.1 Вантажопотоки електросталеплавильного цеху	11
1.2 Опис технологічного процесу виробництва сталі	13
1.3 Характеристика механічного встаткування електросталеплавильного цеху №2	15
1.4 Огляд технічних рішень по підвищенню надійності системи електродотримачів дугових сталеплавильних печей	20
1.5 Пропозиції щодо застосування електродотримачів з шарнірним кріпленням рукава	26
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	29
2.1 Автоколивання пружної системи електродотримачів у полі електродинамічних сил дугової сталеплавильної печі	29
2.2 Розрахунок зусиль та напружень в елементах електродотримача Визначення навантажень і деформацій окремих елементів крайнього електродотримача	33
3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	29
3.1 Дослідження механічних коливань електродотримачів дугових електросталеплавильних печей	29
3.2 Опис експерименту	35
3.2.1 Вимірювальна апаратура	36
3.2.2. Блок живлення	38
3.2.3 Виконавчий механізм	39
3.2.4 Електродотримач	39
3.2.5 Реєстрація даних і експрес аналіз Recorder	40

	7
3.2.6 Передача виміру в WinПОС для докладного аналізу.	41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ	64
4.1 Характеристика ступеня безпеки процесу, рівня механізації	64
4.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища	64
4.3 Розробка заходів захисту від виявлених небезпечних і шкідливих факторів	67
4.4 Технічні розв'язки по виробничій санітарії.	68
4.4.1 Мікроклімат	68
4.4.2 Штучне й природне висвітлення	68
4.5 Заходу протипожежної безпеки	69
4.6 Пожежна сигналізація , оповіщення та зв'язок	71
4.7 Розрахунки ємності бака з розчином піноутворювача	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	78
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ	84
ДОДАТКИ	85

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

СПЦ – електросталеплавильний цех;

ДСП – дугова сталеплавильна піч;

ПАТ – публічне акціонерне товариство;

КЗ – коротке замикання;

БЕ – балансирний електродотримач;

E – модуль пружності матеріалу;

$[\sigma_p]$ – межа міцності при розтягуванні;

БНіП – будівельні норми і правила;

НПАОП – нормативно-правовий акт з охорони праці;

ГДК – гранично допустима концентрація;

ГДР – гранично допустимий рівень;

СН – санітарні норми;

КПО – коефіцієнт природної освітленості;

н.у. – нормальні умови

Вступ

Актуальність роботи. У світовій практиці на багатьох металургійних і машинобудівних підприємствах в останні роки зберігається тенденція і зростає частка виробництва сталі в дугових сталеплавильних печах (ДСП) змінного струму при цьому зниження собівартості продукції пов'язано зі зменшенням витрати графітованих електродів. При виплавці сталі в ДСП частка витрат на електроди досягає 15÷20 % від усіх витрат на виробництво, при цьому біля 8% витрати електродів приходиться на поломки, які пов'язані зі згинальними, ударними та вібраційними навантаженнями. [1]

Динамічні навантаження електродів ДСП виникають при вертикальному переміщенні стійки електродотримача, упиранні в шихту та при дії електродинамічних сил на рукав електродотримача та електрод, які генеруються магнітними потоками, що створюються кожною електричною фазою.

У зв'язку з високою питомою вартістю електродів в загальному кошторисі витрат на виробництво сталі в ДСП, важливою задачею сучасної електromеталургії при освоєнні технологій матеріало та енерго збереження є розробка технічних рішень, що спрямовані на зниження витрати графітованих електродів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження динамічних властивостей балансирних електродотримачів (БЕ), нестационарного електродинамічного впливу на систему при плавці, який збуджує просторові коливання електродів, що дозволяє вирішити задачі підвищення надійності системи електродотримачів за рахунок зменшення амплітуди їхніх змушених коливань у горизонтальній площині та зниження динамічних навантажень на електроди. Виконати експериментальні вимірювання на моделі.

Відповідно до зазначеної мети в роботі поставлені наступні задачі:

1) обґрунтувати рішення по усуненню структурних недосконалостей і раціональному проектуванню вузлів електродотримачів ДСП;

- 2) досліджувати характер і фактори електродинамічного навантаження балансирних електродотримачів трифазної ДСП на експериментальній моделі;
- 3) зробити комплекс розрахункових схем для дослідження можливих видів КЗ у триангульованій системі короткої мережі ДСП з урахуванням зміни інерційних і пружних параметрів коливальної системи;
- 4) обґрунтувати вибір раціональних геометричних параметрів елементів демпфера.

Предмет дослідження – Структурні, конструктивні та динамічні параметри системи балансирних електродотримачів дугової сталеплавильної печі та їх вплив на амплітуду коливань електродів у горизонтальній площині при нестационарному електродинамічному збудженні.

Об'єкт дослідження – системи електродотримачів дугової сталеплавильної печі.

Апробація результатів. Основні положення роботи доповідалися на: XI Міжнародна науково-технічна конференція "Ресурсозбереження та енергоефективність процесів і обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії" (Харків: НТУ "Харківський політехнічний інститут", 2019 р.). Опубліковано тези доповіді.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 98 сторінок, у тому числі 74 сторінки основного тексту, 33 рисунка, 6 таблиць, 49 найменувань використаних джерел на 6 сторінках, 1 додаток.

Робота виконана на кафедрі металургійного обладнання, інженерного навчально-наукового інституту Запорізького національного університету.

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ЕЛЕКТРОДОТРИМАЧІВ ПЕЧЕЙ СЕРІЇ ДСП

1.1 Вантажопотоки електросталеплавильного цеху

У систему вантажопотоків електросталеплавильного цеху з дуговими електропечами (рис 1.1) розрізняють лінії доставки й завантаження лома, подачі й завантаження сипучих шлакоутворюючих матеріалів і феросплавів, збирання шлаків, розливання й збирання сталі (рис 1.2). Брухт із шихтового відділення магнітних матеріалів або з копрового цеху залізничним транспортом подають у шихтовий проліт I головного корпусу електросталеплавильного цеху й розвантажують у ямні бункери 1. Саморозвантажні бадді 3 завантажуються магнітними кранами 2. Після зважування баддю на візку 4 переміщують у грубний проліт II і встановлюють 21; при викоченому поді завалочним краном 20 завантажують лом. [1]

Доставлені в цех шлакоутворювальні матеріали розвантажують у прийомні переносні бункери 5. Після сушіння в барабанному сушило 6 матеріал надходить у переносні бункери 7. З бункера матеріал завантажують у мульду 17 і крановою завалочною машиною 18 подають у піч. [6]

Кокс і бій електродів з бункера 10 надходить на бігуни 9 для здрібнювання й завантажують у мульди 8, установлені краном 2 на балкон робочого майданчика. Після зважування на вагах 16, розташованих на платформі, матеріал подають у піч крановою завалочною машиною. Феросплави з бункерів 11 подають для дроблення в шоківу дробарку 12, завантажують у мульди 13, зважують на вагах 14 і задають у піч 15 для нагрівання, розташовану на балконі робочому майданчику. Усі операції обслуговує мульдомагнітний кран 2. Завантаження нагрітих феросплавів в електропіч здійснюється крановою завалочною машиною.

У ливарному прольоті III розливають сталь. Сталь із печі випускають у сталерозливний ківш 23, який ливарним краном 22 подають на установку 24 напівбезперервного розливання сталі або розливають в виливниці 26. Отримані штанги на УНБРС передають у цех порошкової металургії.

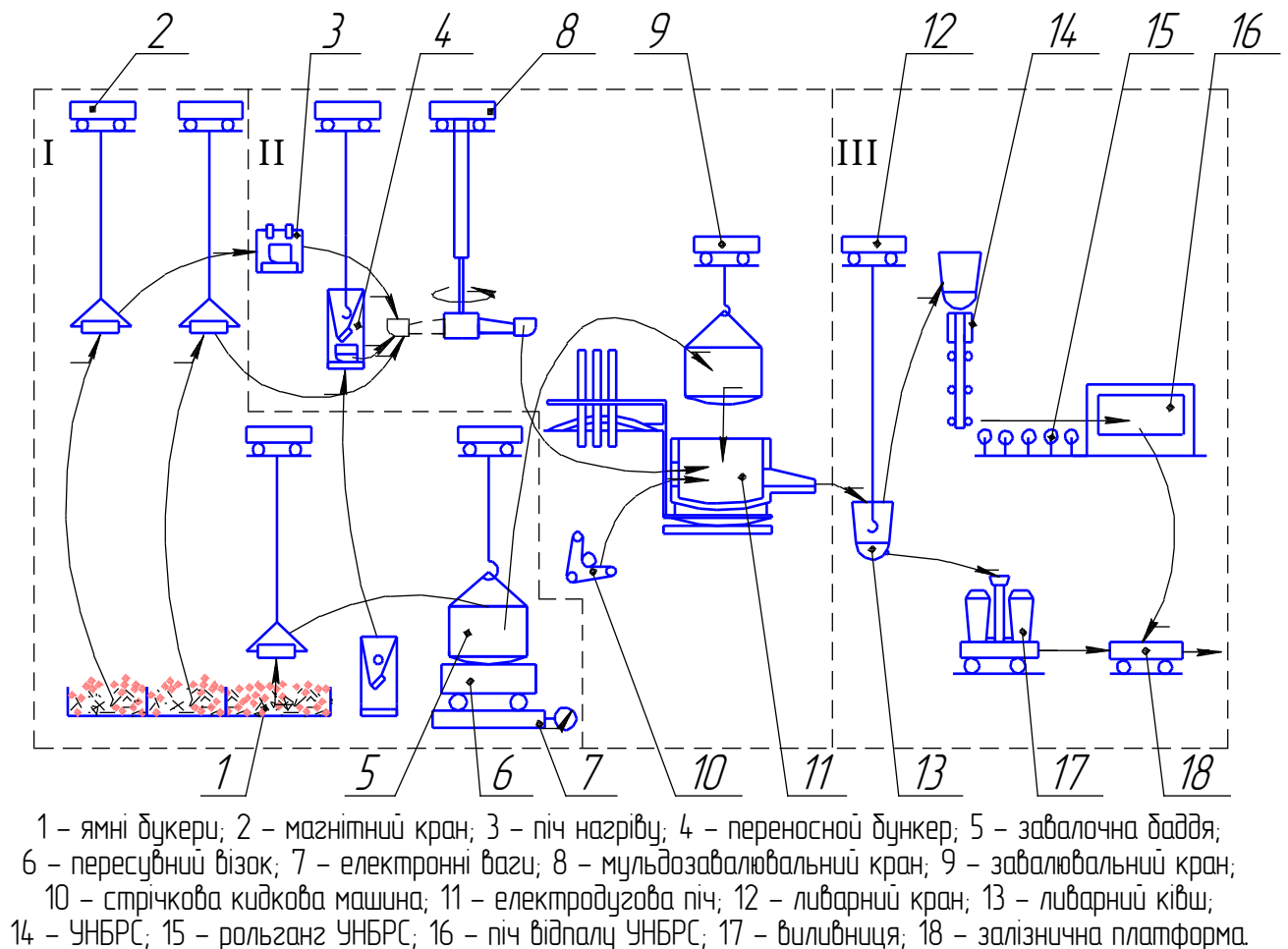


Рисунок 1.1 – Схема грузопотоків сталеплавильного цеху.

Зливки, розлиті в виливниці 26, сталевозними візками подаються у відділення роздягання злитків (стриперне відділення) злитки, що де стверділи, металу витягають з виливниці. [6]

Після відділення злитків від виливниці злитки направляються в прокатний цех, а виливниці – у двір виливниць, де їх прохолоджують, чистять і змазують. Підготовлені виливниці знову направляють у ливарний проліт під приймання нової плавки сталі.

1.2 Опис технологічного процесу виробництва сталі

Приведено технологію виплавки сталі, марки 10X18H10T3. [7]

Заправлення подини й укосів печі, стан зводу й устаткування печі повинні відповідати вимогам ТІ 0-91.

Дану марку сталі необхідно виплавляти при гарному стані печі, починаючи із третин плавки після холодного ремонту стін. Піч заправляється тільки магнезитовим порошком.

Виплавка даної марки сталі виконується по ТУ 14-1-3329-82, з використанням у якості шихти тільки особливо чистої шихтової заготовки 22ЖР по ТУ14-1-1490-75, нікелю НКС, Н0, ферохрому класу «А» з вмістом фосфору не більш 0,030% (мас.); алюміній для розкислення сталі й шлаків застосовується тільки первинний.

Шихтова плавка повинна забезпечити одержання в металі при розплавлюванні: вуглецю – не менш 0,040%, нікелю від 9,0% до 11,0%, молібдену 0,01%.

У завалку або перед плавленням у піч вводиться вапно в кількості (10-15) кг/т і залізна руда (10-15) кг/т.

Після розплавлюванні шихти відбирається проба металу на хімічний аналіз, а в той час поки робиться хімічний аналіз, викачують шлаки на (80-90)%, вводиться вапно (10-15) кг/т і при вмісті фосфору не більш 0,010%, після чого починається продувка розплаву киснем.

При продувці розплаву киснем, тиск кисню повинний бути не менш 1,4 МПа.

Продувка розплаву закінчується при вмісті вуглецю не більш 0,02%.

Після продувки шлак викачують на (80-90)% і проводиться розкислення розплаву кусковим феросиліцієм на 0,40% кремнію без урахування вигару й алюмінієм у кількості – 1 кг/т

Під час розплавлювання ферохрому шлак розкислюється сумішами ФС65 і алюмінію. Загальна витрата меленого феросиліцію – 4кг/т, порошку алюмінію – 2кг/т.

Після проплавлення ферохрому й одержання коричневого черепка шлаки викачують й вводиться новий з вапна (8-10) кг/т і шпату (2,5-3,5) кг/т сталі. Метал і шлаки перемішуються установкою електромагнітного перемішування й гребками (8-10) хвилин, після чого відбирається дві проби металу на хімічний аналіз із інтервалом (5-8)хвилин, потім у піч уводиться до червоності прожарений феросиліцій ФС65 і проводиться остаточне коректування плавки по хімічному складу; перед випуском плавки шлаки розкислюється порошком алюмінію (1,5-2,5) кг/т сталі в суміші з вапном (1,5-2,5) кг/т сталі; плавка випускається в ківш при добре обробленому випускному отворі, довжина струменя повинна бути мінімальною, швидкість витікання металу – максимальною; тривалість рафінування (від початку введення ферохрому до випуску плавки) повинна становити (50(+10) хвилин; ківш застосовується чистий після розливання не менш трьох плавок.

Після закінчення плавлення сталі, сталь зливають у ливарний ківш у якому уже перебуває Ті у співвідношенні (2,8 – 3,2)%. Далі сталь з ковша розливається в сухі виливниці з екзотермічними сумішами.

Дозволяється розливання сталі в змазані лаком виливниці, а також розливання зверху у восьмигранні виливниці відповідно до ТІ 1-89, і розливання з теплоізоляційними вставками по ТІ 13-89, ТІ 16-89.

Зливки передаються в передільні цехи гарячим всадом або прохолоджуються по ТІ 7-89.

1.3 Характеристика механічного встаткування електросталеплавильного цеху №2

Таблиця 1.1 – Основне й допоміжне устаткування цеху [3]

Устаткування	Призначення встаткування й продуктивність	Вид привода	Споживана потужність	Режим роботи	Коефіцієнт технічного використання
1	2	3	4	5	6
Мульдо-магнітний кран	Завантаження й подача мульд Q=10/5т	Електро-механічний	40 кВт	ПВ=40%	0,6
Магнітно-грейферний кран	Завантаження бадей Q=15/5т	Електро-механічний	50 кВт	ПВ=60%	0,9
Магнітно-грейферний кран	Завантаження бадей Q=15/5т	Електро-механічний	50 кВт	ПВ=60%	0,8
Пристрій для транспортування бадей	Транспортування бадей із шихтового на робочий проліт Q=30т	Електро-механічний	20 кВт	ПВ=40%	0,75
Дробарка щекова	Дроблення феросплавів производ 1,5т/ч	Електро-механічний	75 кВт	ПВ=60%	0,4
Мостовий кран	Для завалки печей Q=40/10т	Електро-механічний	70 кВт	ПВ=60%	0,8
Кранова завалочна машина	Для завантаження легуючих елементів Q=3,6/5т	Електро-механічний	90 кВт	ПВ=60%	0,85
Мостовий кран	Для завалки печей Q=40/25т	Електро-механічний	50 кВт	ПВ=60%	0,8
Мостовий кран	Для завалки печей Q=40/20т	Електро-механічний	45 кВт	ПВ=60%	0,8

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6
Мостовий кран	Для завалки печей Q=40/20/5т	Електро- механічний	60 кВт	ПВ=60%	0,6
ДСП-50 (Рис 1.2)	Плавлення стали m=50т	Електро- механічний гідравлічний	20000 кВт	ПВ=100%	0,95
ДСП-50	Плавлення стали m=50т	Електро- механічний гідравлічний	20000 кВт	ПВ=100%	0,95
ДСП-50	Плавлення стали m=50т	Електро- механічний гідравлічний	20000 кВт	ПВ=100%	0,95
Печі для феросплавів	Для нагрівання феросплавів			ПВ=40%	0,95
Візок шлаковозний	Перевезення ковшів зі шлаками	Електро- механічний	15 кВт	ПВ=60%	0,7
Бруківці розливний кран	Для розливання стали в ізложниці Q=75/10т	Електро- механічний	250 кВт	ПВ=60%	0,8
Бруківці розливний кран	Для розливання стали в ізложниці Q=100/20т	Електро- механічний	300 кВт	ПВ=60%	0,8
Бруківці розливний кран	Для розливання стали в ізложниці Q=75/20т	Електро- механічний	237 кВт	ПВ=60%	0,8
Консольний кран	Для ремонтних робіт Q=5т	Електро- механічний	18 кВт	ПВ=60%	0,4
Консольний кран	Для ремонтних робіт Q=7т	Електро- механічний	25 кВт	ПВ=60%	0,4
Консольний кран	Для ремонтних робіт Q=3т	Електро- механічний	10 кВт	ПВ=60%	0,4
Печі для сушіння стопорів	Для сушіння стопорів			ПВ=100%	0,8

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6
Установка напівбезперервного лиття сталі	Для розливання сталі в штанги		900кВт	ПВ=100%	0,5
Електро-Мостовий кран	Для завантаження транспортування штанг на ділянці УПНРС Q=20/5т	Електро-механічний	44 кВт	ПВ=60%	0,5
Кран-балка	Для підготовки порошоків Q=3т	Електро-механічний	15 кВт	ПВ=40%	0,7
Мостовий кран	Для підготовки й транспортування ковшів Q=30/10т	Електро-механічний	55 кВт	ПВ=40%	0,4
Консольний кран	Для допоміжних робіт Q=5т	Електро-механічний	15 кВт	ПВ=40%	0,5
Транспортний візок	Для транспортування ковша з металом на ділянку УПНРС Q=50т	Електро-механічний	37 кВт	ПВ=40%	0,55

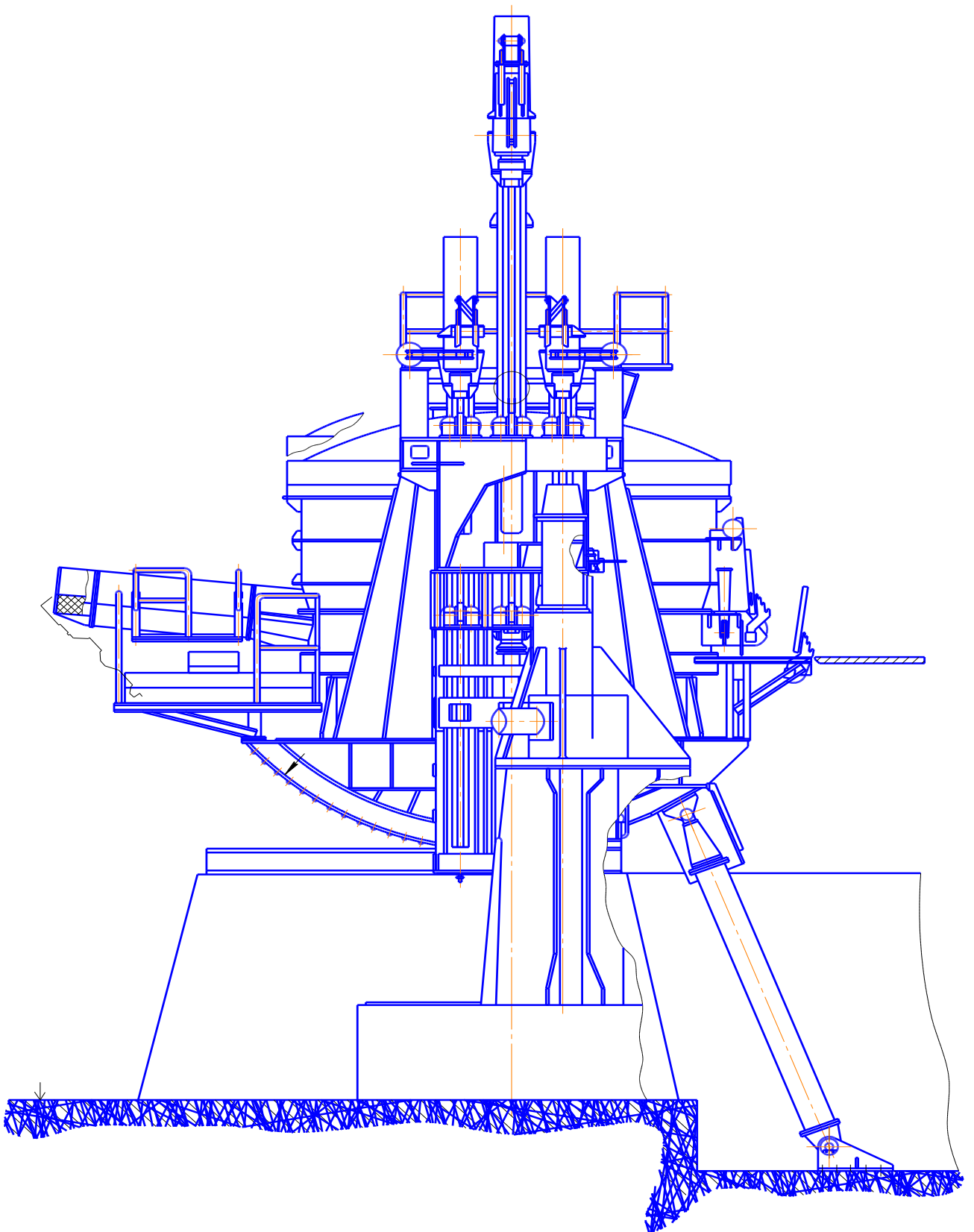


Рисунок 1.2 Дугова сталеплавильна піч

Основним устаткуванням у сталеплавильному цеху є дугові сталеплавильні печі ємністю 50 т [7]. Печі перебувають між робочим

майданчиком і розливним прольотом. На робочому майданчику так само перебувають п'ять електромостових кранів з вантажопідйомністю головного підйому 50 т і допоміжного 7 т. Так само на робочому майданчику перебуває кранова завалочна машина з вантажопідйомністю 3,6/5 т. [6]

На шихтовому прольоті перебувають три мульдо - магнітних крана які служать для того щоб робити завантаження кошиків шихтовими матеріалами із шихтових бункерів. Завантажувальна баддя встановлюється на транспортуючий візок з електромеханічним приводом і вантажопідйомністю 35 т цей транспортний візок необхідний для того щоб перевезти завантажувальну баддю із шихтового відділення на робочий майданчик, щоб за допомогою мостових кранів які перебувають на робочому майданчику зробити завантаження електропечі.

На ливарному прольоті перебувають три електромостових ливарних крана з вантажопідйомністю головного підйому 75 т а допоміжного підйому 20 т. За допомогою цих кранів виконую розливання металу зі сталеливарних ківшів у виливниці розташовані на залізничних платформах.

За розливним прольотом перебуває установка напівбезперервного розливання сталі, за допомогою якої зливу з печі сталь розливають у дев'ятиметрові штанги, які після цього відправляються в прокатний цех, де прокочують у готовий виріб, або в цех порошкової металургії, де із цих штанг одержують високоякісну сталь. Ківш зі сталлю з ливарного прольоту до установки напівбезперервного розливання сталі подається за допомогою транспортуючого візка вантажопідйомністю 50 т. [7]

Поруч із розливним прольотом перебуває слюсарня, у якій установлені верстати, де виготовляють запасні частини для ремонту устаткування.

1.4 Огляд технічних рішень по підвищенню надійності системи електродотримачів дугових сталеплавильних печей

Проблема зменшення амплітуд коливань електрода дотепер цілком не вирішена, що пов'язано зі складними зв'язаними просторовими коливаннями в системі «електродотримач-електрод», які мають різні частоти та амплітуди, та збуджуються електродинамічним навантаженням у трифазній системі ДСП і вертикальними переміщеннями електродів при дії САР.

Автоколивання електродотримачів обумовлені інерційністю гідравлічної системи привода МПЕ порівняно з сигналами САР. Для вирішення цих проблем запропоновані деякі рішення по раціональному вибору параметрів гідравлічної системи МПЕ з метою підвищення їх стійкості та зниження зони нечутливості, які наведені в роботах А.Я. Жука, Май Фиок Туана, М.В. Буканової [27], Р.Н. Пятака [27] та інших авторів.

Існує значна кількість вітчизняних запатентованих технічних рішень що направлені на зниження амплітуд коливань електродів за рахунок зміни конструкції вузлів електродотримачів, встановлення гасителів коливань різного типу, але для діючих сучасних конструкцій електродотримачів з рухливою стійкою та жорстким кріпленням струмоведучого рукава до стійки в літературних джерелах немає даних про позитивне застосування цих рішень.

Актуальність теми зниження амплітуд коливань електродотримачів ДСП доведена практичним досвідом експлуатації та модернізації надпотужних ДСП.

Відомий досвід реконструкції ДСП [28] на заводі компанії “Steel Dynamics Inc.”(США) шляхом збільшення висоти робочого простору, що привело до необхідності збільшення довжини електродів під склепінням з 4,4 м до 7,4 м і відповідно ходи МПЕ. Це стало причиною підвищеної вібрації і поломок графітованих електродів діаметром 610 мм у період освоєння технології на реконструйованій печі. Після реконструкції печі для збільшення механічної міцності електродів збільшили довжину і товщину ніпелів.

Для зниження вібрації електродів були проведені наступні заходи:

- збільшили довжину дуги шляхом зміни енергетичного режиму плавки;

- знизили швидкість опускання електродів шляхом внесення змін у настроювання регулятора;
- збільшили діаметр розпаду електродів;
- на опорні конструкції електродотримачів установили гідравлічні амортизатори.

Основними методами зниження амплітуд коливань у динамічній системі «стійка - електродотримач - електрод» є [47]:

- зменшення інтенсивності електродинамічних сил, що змушують коливання, за рахунок раціональних електричних режимів плавлення;
- активне придушення коливань за рахунок впливу на динамічну систему і технологічний процес, що забезпечується системою автоматичного керування вертикальними переміщеннями електродів;
- застосування демпферних роликів опор стійки електродотримача;
- використання динамічних гасителів коливань електродотримачів;
- зміна несучої конструкції електродотримачів;
- раціональний вибір динамічних параметрів механічної системи електродотримачів.

Основні напрямки підвищення вібраційної стійкості системи електродотримачів ДСП, переваги і недоліки зведені до таблиці 1.5.

В існуючих конструкціях ДСП всі елементи електродотримачів з'єднані жорстко, тому для зниження амплітуд коливань електродів в літературі розглядались деякі можливі шляхи вирішення проблеми:

1. Збільшення згинальної та крутильної жорсткості елементів несучої металоконструкції системи електродотримача. У роботі [Помилка! Закладку не визначено.] зазначено, що складова статичного прогину, що обумовлена вигином стійки, досягає 80% статичного прогину всієї конструкції, тому для поліпшення динамічних параметрів існуючих конструкцій електродотримачів, тобто зменшення амплітуди і збільшення частоти власних коливань, доцільно збільшувати момент інерції поперечного перерізу стійки електродотримача. При цьому вказано, що збільшення моменту інерції перерізу

рукава вище значень, що прийняті на існуючих конструкціях ДСП не приводить до істотного поліпшення динамічних параметрів механічної системи.

Таблиця 1.2 - Напрямки підвищення вібраційної стійкості системи електродотримачів ДСП

№	Напрямки	Переваги	Недоліки
1	Збільшення жорсткості несучої конструкції електродотримача	Знижує коефіцієнт динамічності коливальної системи	Підвищена металоємність. Збільшення розмірів перерізів і габаритів металоконструкції. Не усуває коливання електродів.
2	Використання нелінійних пружних характеристик електродотримача	Використання елементів металоконструкції стійки, електродотримача і вузлів роликів опор	Наявність зазорів. Складність настроювання. Не усуває коливання електродів.
3	Застосування динамічних гасителів коливачь	Високий рівень зниження амплітуд коливачь електродотримача й електрода	Металоємність. Складність настроювання. Вузкий спектр дій. Інерційність. Розташування на електродотримачі.
4	Застосування демпферів	Знижують амплітуду коливачь електродотримача	Складність у розташуванні на конструкції. Не усуває поперечно-крутильні коливання металоконструкції.
5	Системи активного зменшення коливачь	Зменшують амплітуду коливачь електродотримача за рахунок спостереження за електричним режимом плавлення та його регулюванням	Складність конструкції і настроювання. Інерційність. Не усувають коливання електродів.
6	Раціональні електричні режими, що виключають високий	Знижує амплітуду коливачь до необхідних	Складність регулювання. Режими можуть не відповідати вимогам

	рівень коливань електродотримачів	показників	технології плавлення
--	--------------------------------------	------------	----------------------

У роботі [Помилка! Закладку не визначено.] встановлено, що якщо закріплення стійки в напрямних роликах - найбільш податливий вузол, то вигин і крутіння рукава електродотримача, навпроти, дають найменший внесок у сумарну піддатливість конструкції. Тому жорсткість перерізу рукава електродотримача можна знижувати до деякого значення, практично не збільшуючи при цьому амплітуду коливань торця електрода.

У дослідженні стійкості системи електродотримачів ДСП-100 [29] зазначено, що близько 45% пружної деформації електродотримача ДСП складають крутильні коливання верхньої горизонтальної частини з електродом та встановлено, що найбільш ефективним методом досягнення стійкості в системі електродотримачів є збільшення параметра розсіювання енергії, при цьому зміна параметру приведеної жорсткості стійки менш впливає на вібраційну стійкість.

Збільшення згинальної та крутильної жорсткості елементів несучої металоконструкції системи електродотримача відповідно вимагає збільшення геометричних розмірів перерізу стійки та рукава електродотримача, що впливає на масу несучої конструкції та, як наслідки, на динамічні параметри та характеристики коливальної системи, що нажаль частіше не дає істотних результатів при модернізації існуючих конструкцій.

2. Зміни елементів опорної системи рухливої стійки електродотримача на більш податливі. Система напрямних роликів із пружними елементами крім забезпечення основного руху стійки призначена за рахунок деформації пружних елементів опор зберегти електрод від руйнування при упорі в шихту при його опусканні. Крім того зміна конструктивного виконання вузла напрямних роликів стійки може привести до поліпшення динамічних властивостей електромеханічної системи ДСП.

В цьому напрямку запропоновані різноманітні конструкції пружних роликів опор [30, 31, 32] рухливої стійки електродотримача та з різними схемами їх розміщення. Але податливість опорних вузлів зменшує жорсткість системи «стійка - опорні ролики», що з урахуванням можливих зазорів приводить до нелінійної пружної характеристики і повинно враховуватися при настроюванні САР МПЕ.

У роботі [**Помилка! Закладку не визначено.**] встановлено, що основний внесок в амплітуду коливань торця електрода вносить фактор нежорсткого закріплення стійки в напрямних роликах та доведено, що представлення закріплення стійки в напрямних роликах пружними опорами наближає модель до реального об'єкта. Урахування пружного закріплення стійки в напрямних роликах дозволяє обчислювати власні частоти конструкції з відмінністю від отриманих експериментально не більш 15%. Припущення про жорстке закріплення стійки дає результати власних частот у два рази завищені, у порівнянні з експериментальними.

Експериментально встановлено [**Помилка! Закладку не визначено.**], що для ДСП-100И6 крутильна пружна характеристика опорної системи стійки електродотримача нелінійна з початковим натягом 180 кНм і жорсткістю $4,5 \cdot 10^7$ Нм/рад. Приведена до вісі стійки крутильна жорсткість пружної опори складає $4,5 \cdot 10^7$ Нм.

У роботах [33, 34] наведена математична модель механізму переміщення електродів ДСП на основі представлення Денавіта-Хартенберга і рівнянь Лагранжа та розглянуті впливи конструктивних елементів на демпфірування пружних коливань електродотримача ДСП-200 з прямокутним перерізом та з урахуванням сили зовнішнього тертя в напрямних колони.

Пружна і дисипативна характеристика верхнього і нижнього опорного вузла рухливої стійки істотно впливає на динамічні параметри коливальної системи «стійка-електродотримач». Однак для пружних вузлів напрямних роликів стійки електродотримача в літературі відсутня методика розрахунку

геометричних і пружних параметрів, вибору зусилля попереднього підпружнення, характеристики демпфірування.

3. Введення в опорну конструкцію рухливої стійки електродотримача демпферів коливань [47]. В цьому напрямку запропоновані різні конструкції опорних роликів з пружними та дисипативними елементами де розсіювання енергії відбувається за рахунок в'язкого або сухого тертя. Але в літературі немає інженерних методик вибору раціональних характеристик пружності та дисипації опорних вузлів рухливої стійки, з урахуванням того, що збільшення пружності опорної системи стійки веде до збільшення амплітуд коливань електродотримача, а дисипація до їх зменшення.

4. Введення в несучу конструкцію системи електродотримача динамічних пристроїв гасіння коливань. Для гасіння коливань електродотримача у горизонтальній площині авторами пропонувались ряд запатентованих конструкцій динамічних гасителів коливань [35, 36, 37, 38, 39], що пов'язані з елементами металоконструкції рухливої стійки та рукава електродотримача, деякі з яких були опробовані на фізичних моделях та реалізовані і дали позитивний ефект на діючих ДСП з несучими електродотримачами з трубошинами.

Основний недолік динамічних гасителів коливань у тому [40], що усуваючи резонанс при визначеній частоті, такий гаситель приводить до появи нових власних частот і можливості резонансів по цих частотах, що вимагає вибору оптимальних параметрів загасання. З урахуванням стохастичного характеру амплітуд та частот електродинамічного збурення вібрацій у механічній системі електродотримачів, зміни динамічних параметрів і власних частотних характеристик коливальної системи, застосування пасивних пристроїв динамічного гасіння коливань, що збільшує масу електродотримача, має обмежену полосу частотного застосування.

Для сучасних конструкцій електродотримачів зі струмопровідними рукавами в останні роки в літературі немає інформації про застосування або розрахунки таких динамічних гасителів коливань.

5. Активний шлях зменшення коливань електродів, що складається у впливі на динамічну систему дугової печі та її елементи способами автоматичного керування [49]. Однак цей перспективний метод вимагає системи моніторингу стану коливальної системи електродотримачів, її динамічних параметрів, створення адекватної мехатронної моделі МПЕ з урахуванням стохастичного нестационарного електродинамічного навантаження в короткій мережі ДСП.

Всі ці вищезазначені напрямки зменшення вібрацій електродів та підвищення загальної вібраційної надійності системи електродотримачів найчастіше потребують значної переробки існуючої конструкції електродотримачів та подальшого дослідження динамічних характеристик системи і поведіння її у різних режимах плавлення.

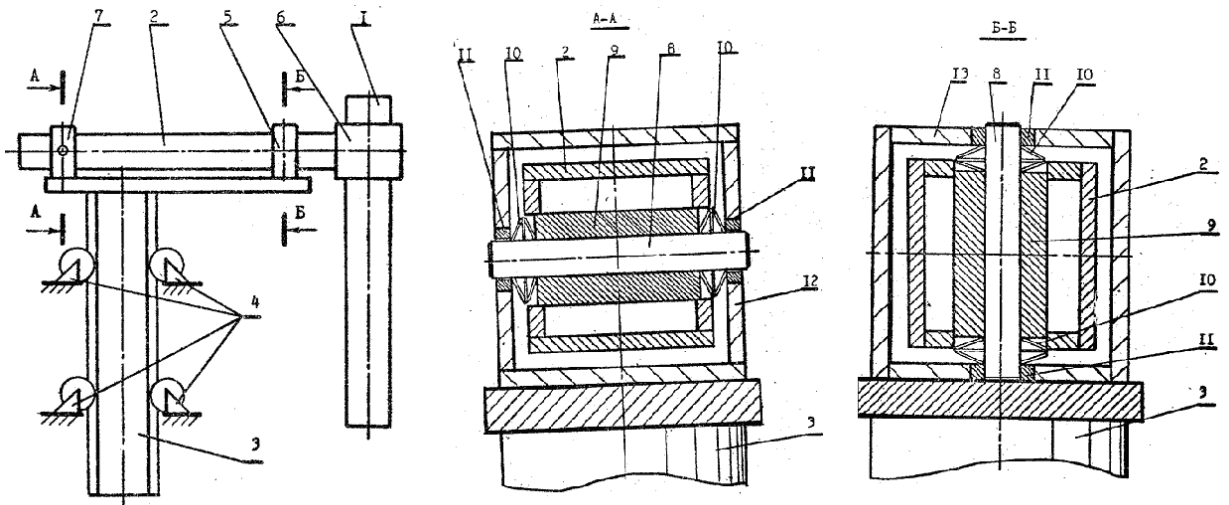
1.5 Пропозиції щодо застосування електродотримачів з шарнірним кріпленням рукава

Одним із рішень задачі зменшення амплітуд коливань електрода в горизонтальній площині є зміна структури несучої конструкції електродотримача з переведенням системи електродотримача з жорстким з'єднанням рухливої стійки з рукавом на шарнірно-демпферну конструкцію з двома ступенями волі, ефективність якої може бути забезпечена тільки при високих дисипативних властивостях демпферів, наприклад, демпферів сухого тертя.

Відомий пристрій [41] для кріплення електродотримача ДСП (рис.1.3), що складається з рукава, який прикріплений до стійки, з голівкою для електрода, і механізм гасіння коливань, що відрізняється від традиційної жорсткої конструкції електродотримача тим, що, з метою підвищення терміну служби пристрою, виконаний у виді двох шарнірно-демпферних вузлів, що розташовані між рукавом і стійкою, один із яких з вертикальною віссю розташований з боку

голівки, а іншій з горизонтальною віссю - із протилежної сторони рукава. При цьому шарнірно-демпферні вузли можуть бути виконані як вісь з установленими на ній втулками і пружними-демпферними елементами, причому вісь розташована в опорах обертання стійки, а пружні-демпферні елементи розміщені між втулками вісі та опорами обертання.

При виникненні коливань електрода 1 унаслідок взаємодії фаз печі, що обумовлені збурюванням електродинамічних сил, рукав електродотримача повернеться на вісі 8 вертикального шарнірно-демпферного вузла 5. При цьому кінець рукава електродотримача 2, який закріплений у горизонтальному шарнірно-демпферному вузлі 7, переміститься на деяку відстань і стисне пружний-демпферний елемент 10, у якому відбудеться розсіювання енергії механічних горизонтальних коливань електрода 1, а потім пружним-демпферним елементом 10 рукав електродотримача 2 із затиснутим у ньому електродом 1 повернеться у вихідне положення.



1- електрод, 2 - рукав, 3 - стійка, 4 - опорні ролики, 5 - шарнір з вертикальною віссю, 6 - головка електродотримача, 7 - шарнір з горизонтальною віссю, 8 - вісь, 9 - втулка, 10 - пружно-демпферні елементи, 11 - опори обертання, 12, 13 - кронштейни

Рисунок 1.3 - Пристрій для кріплення електродотримача ДСП [42]:

При упорі електрода 1 у струмонепровідну шихту або при виникненні вертикальних коливань рукав електродотримача 2 повернеться на вісі 8 горизонтального шарнірно-демпферного вузла 7, знімаючи при цьому з електрода 1 навантаження, що рівняється значенню ваги стійки 3, а коливання будуть погашені пружним-демпферним елементом 10 вертикального шарнірно-демпферного вузла 5. Потім пружним-демпферним елементом 10 конструкція повернеться у вихідне положення.

За думкою авторів, цей пристрій може відрізнитися підвищеним ресурсом електрода за рахунок гасіння всього спектру його коливань, простотою конструкції, що дозволяє без значних переробок установити його на кожному з існуючих систем електродотримачів печей, використовуючи при цьому елементи кріплення рукава електродотримача зі стійкою. Прогнозоване зниження витрати електродів за рахунок поломок не менш 40% шляхом зменшення амплітуди коливань останнього не менш, ніж у два рази.

Однак були відзначені і недоліки цього пристрою, які полягають у тому, що дія демпферних вузлів обмежена, тому що вісі, втулки і шарнірно-демпферні вузли розташовані усередині рукава і гасіння коливань можливо тільки при невеликих амплітудах, а гасіння коливань, викликаних відхиленням від вертикальної вісі електрода, неможливо.

Для наведеної конструкції електродотримача немає рекомендацій з вибору місця встановлення шарніру рукава електродотримача та пружних параметрів пристрою, що демпфірує механічні коливання, з урахуванням електродинамічних впливів, що змушують механічні коливання в триангульованому струмопідводі ДСП.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Автоколивання пружної системи електродотримачів у полі електродинамічних сил дугової сталеплавильної печі

Для дослідження динамічних явищ, що відбуваються в електропічному агрегаті, в тому числі вібрацій електродів, необхідно вивчити механізм впливу пружної системи електродотримача на процеси які протікають в електричному контурі печі та умови взаємодії механічних і електричних величин в динамічній системі дугової сталеплавильної печі (ДСП). [43, 44]

При роботі печі, електрична дуга в результаті дії зовнішнього і власного магнітних полів, а також притягнення до феромагнітної шихті відхиляється від вертикалі і горить в дуговому проміжку, укладеному між торцем електрода і поверхнею зони розплавлення твердої завалки або меніска рідкого металу.

В цих умовах на геометричні параметри дугового проміжку (довжину), і отже, напруга електричної дуги впливає не тільки компонента вертикального переміщення, яка забезпечує процес регулювання електричної потужності, а й компоненти вібропереміщень електрода в горизонтальній площині, по осях X і Y , зумовлені виключно пружними деформаціями системи електродотримача в поле електродинамічних сил печі. Оскільки, електродинамічні сили є функцією робочих струмів печі, то зміна довжини електричної дуги за рахунок вібропереміщень електрода будуть надавати зворотний вплив на ці сили.

Стосовно до вивчення явищ, пов'язаних з вібропереміщенням, динамічна система ДСП може бути представлена у вигляді схеми зі зворотним зв'язком, яка з одного боку описується рівняннями пружної системи електродотримача, а з іншого – рівняннями динаміки перехідних процесів в електричному контурі печі. Як відомо, така система при певних умовах здатна генерувати коливання, тобто є автоколивальною системою.

Надходження енергії в динамічну систему ДСП буде тим більше, чим вище ступінь впливу вібропереміщень електрода на довжину електричної дуги. Очевидно, що максимальний внесок енергії в систему буде відбуватися при збігу траєкторії вібропереміщення нижнього кінця електрода з напрямком горіння електричної дуги. Такі несприятливі умови можуть бути реалізовані наступним чином.

Як відомо, діаметр проплавляється колодязя визначається головним чином, падаючим на його стінки променистим потоком. Величина променистого потоку залежить від активної потужності електричної дуги, співвідношення її довжини і діаметра, а також співвідношення діаметрів електрода і колодязя.

При роботі в режимі великих струмів, коли в печі горять короткі електричні дуги, розташовані безпосередньо під електродами, останні вже на початку процесу розплавлення глибоко занурюються в шихту і досягають через короткий час крайнього нижнього положення. Діаметри утворюються при цьому колодязів навколо електродів ненабагато перевищують їх діаметр.

До того ж, внаслідок магнітного віддування електричної дуги в сторону бічній стінки печі і, отже, обмеження потоку променистої енергії в протилежному напрямку, відбувається нерівномірний формування вертикального профілю зони розплавлення навколо електрода, що сприяє утворенню дугового проміжку в зазорі між електродом і стінкою колодязя рівним або менше області існування електричної дуги. Це обумовлює можливість виникнення в колодязі так званої "бічної" електричної дуги, геометричні параметри якої в широких межах залежать тільки від горизонтальних переміщень електрода по осях X і Y . Причому, найбільш несприятливим становищем стовпа «бічної» електричної дуги є його орієнтація по вісі Y (перпендикулярній робочого вікна печі), за якою системи електродотримачів крайніх фаз печі мають максимальну податливість і по якій спрямована максимальна складова електродинамічних сил.

Для правильного розуміння умов існування автоколивань в динамічній системі ДСП необхідно враховувати такі основні положення:

1. Автоколивання відбуваються при стійкому горінні в печі електричної дуги.

2. В силу низьких власних значень частот, система електродотримача не реагує на миттєві зміни параметрів електромагнітного поля. Тому при дослідженні автоколивань враховувалися тільки діючі (інтегральні) значення струмів електричних дугі електродинамічних сил трифазної системи ДСП.

3. Динамічна система ДСП включає в себе нелінійний елемент, представлений статичною залежністю струму електричної дуги від її довжини.

4. Автоколивання можливі якщо змінна електродинамічна сила, що виникає в наслідок коливань, здійснює за кожен цикл руху певну роботу, тобто в коливальну пружну систему електродотримача вкладається енергія. Для здійснення роботи досить хоча б невеликого випередження електродинамічної сили над зміщенням електрода, тобто наявності складової, що збігається за фазою і швидкістю. Зрушення за часом між електродинамічною силою і вібропереміщення електрода обумовлений перехідними процесами в електричному контурі, залежними від постійної часу короткої мережі печі.

5. Автоколивання можуть відбуватися в будь якій з трьох фаз печі при наявності в вібропереміщенні електродів складової здатної викликати зміни довжини електричної дуги даної фази. В цьому випадку поведінка двох інших фаз ДСП можна розглядати як вимушений рух під впливом коливальних величин досліджуваної фази.

6. Вплив додаткового магнітного видування електричної дуги в процесі автоколивань не враховувалося.

Математична модель, що описує динамічні і статичні властивості досліджуваної розрахункової схеми може бути представлена системою рівнянь, записаних в безрозмірному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 q}{d\tau^2} &= \varepsilon - \frac{E\delta}{\pi} \cdot \frac{dq}{d\tau} - E^2 q \\ I_g &= f(L_g); \quad F = f(I_g); \\ \frac{dI_g}{d\tau} &= \frac{dI_a}{d\tau} + I_a; \\ DL_g &= D\Delta_3 - q \end{aligned} \right\}, \quad (2.1)$$

де q - узагальнена координата;

ε - прискорення системи електродотримача під дією узагальненої електродинамічної сили;

d - декремент згасання;

I_g, I_a - діючі значення періодичної і аперіодичної складових сил струму електричної дуги;

L_g - довжина електричної дуги;

Δ_3 Зазор в колодязі між його стіною і електродом;

t - відносний час;

E – відносна постійна часу електричного контура печі;

D - відносне максимальне квазістатичне відхилення електрода (відповідає току короткого замикання печі);

F –узагальнена електродинамічна сила.

Дослідженнями математичної моделі встановлено наявність стійких граничних циклів на фазовій площині, коли приплив енергії компенсує її витрату (в середньому за один коливальний цикл) і динамічна система ДСП зовні поводить ся так, як би вона була консервативною.

2.2 Розрахунок зусиль та напружень в елементах електродотримача

При роботі дугової сталеплавильної електропечі між електродами взаємодіють електродинамічні сили, що притягають або відталкують електроди, що викликає коливання електродів, як в горизонтальній, так і у вертикальній площинах, причому у вертикальній площині також відбувається відхилення електрода від вертикальної осі. В результаті коливань електродів відбуваються і коливання електродотримачів. З'єднання електродотримача зі стійкою дугової сталеплавильної електропечі ДСП50 жорстке і навантаження, викликане коливаннями електродів, припадає на електроди і кріплення, опор електродотримачів, що призводить до швидкого зносу вузлів кріплень, а також до поломок електродів. За рахунок поломок електродів збільшується їх витрата.

Визначення навантажень і деформацій окремих елементів крайнього електродотримача

Дані для розрахунку:

діаметр електрода - $D = 0,5$ м.

Відстань від осі стійки до:

осі опор - $L_1 = 0,6$ м, $L_2 = 1,63$ м;

до кінця рукава - $L_{p1} = 1,33$ м; $L_{p2} = 4,035$ м;

до осі електрода - $L_o = 4,85$ м.

Довжина ділянки взаємодії струмопідводів електродів електродотримачів–

$l = 7,03 \text{ м.}$

Довжина електрода - $L = 6 \text{ м.}$

Маса електрода – $m = 2,5905 \cdot 10^3 \text{ кг.}$

Вага електроду - $G = 25,413 \cdot 10^3 \text{ Н.}$

Модуль пружності - $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$

Межа міцності сталі при розтягуванні $[\sigma] = 160 \text{ МПа.}$

Межа міцності сталі при крученні $[\tau] = 100 \text{ МПа.}$

Модуль пружності другого роду для сталі $G = 0,8 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$

Відносний кут закручування $[\theta] = 0,01 \text{ рад.}$

Максимальні електродинамічні сили, що діють на рукав електродотримачів:

$$F_{\max,x} = 1498 \text{ Н; } F_{\max,y} = -285 \text{ Н.} \quad (2.2)$$

Електродинамічні сили, що діють на електрод:

$$F_{x1} = 1271 \text{ Н; } F_{z1} = 236 \text{ Н.} \quad (2.3)$$

Визначимо питомі електродинамічні навантаження, що діють на рукав:

$$q_p = 2,173 \cdot 10^3 \text{ Н / м} \quad (2.4)$$

$$q_{\max,x} = F_{\max,x} / l = 1498 / 7,03 = 213 \text{ Н / м} \quad (2.5)$$

$$q_{\max,y} = F_{\max,y} / l = 40,5 \text{ Н / м} \quad (2.6)$$

Загальне питоме навантаження, що діє на рукав електродотримача:

$$q_o = q_p + q_{\text{дин.у}} \quad (2.7)$$

$$q_o = 2173 + 40,5 = 2,2135 \cdot 10^3 \text{ Н / м}$$

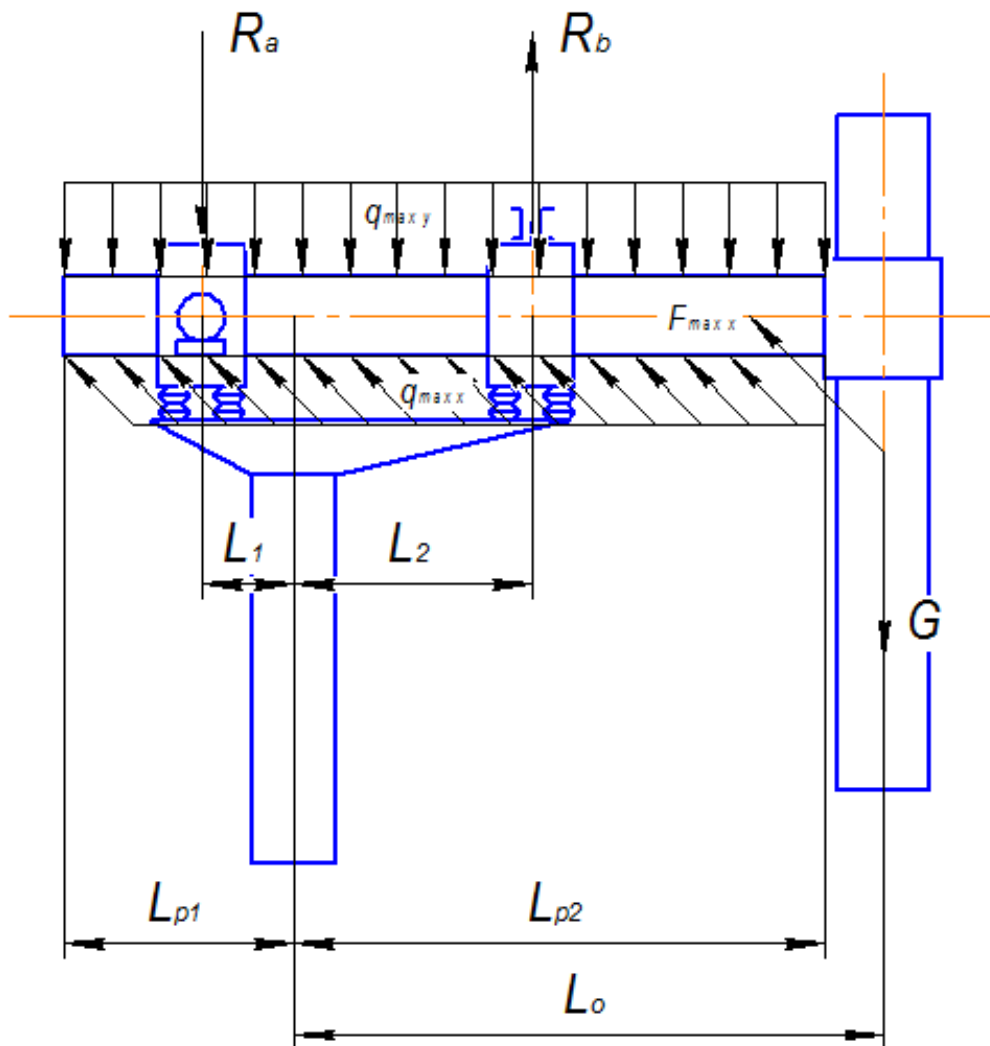


Рисунок 2.1 – Загальна розрахункова схема механізму переміщення електродів

Електродинамічні навантаження діють на електрод:

$$q_{x1} = F_{x1} / L \quad (2.8)$$

$$q_{x1} = 1271/6 = 212 \text{ Н / м};$$

$$q_{z1} = F_{z1} / L \quad (2.9)$$

$$q_{z1} = 236/6 = 39,3 \text{ Н / м}$$

Взаємодія електродів може призводити до крученню і вигину рукава.

Крутний момент:

$$M_{кр} = \frac{q_x \cdot L^2}{2} = \frac{212 \cdot 6^2}{2} = 3,816 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.10)$$

Згинальний момент:

$$M = \frac{q_{z1} \cdot L^2}{2} = \frac{39,3 \cdot 36}{2} = 0,7074 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.11)$$

Реакції і знайдемо, складаючи статичні рівняння рівноваги системи:

$$\Sigma M = R_B(L_1 + L_2) + \frac{q(L_{p1} - L_1)^2}{2} - \frac{q(L_1 + L_{p2})^2}{2} - G_3(L_1 + L_o) - M_3 = 0 \quad (2.12)$$

$$R_B(0,6 + 1,63) + 221,5 \frac{(1,33 - 0,6)^2}{2} - 2213,5 \frac{(0,6 + 4,035)^2}{2} - 25413(0,6 + 4,485) - 77,4 = 0$$

$$R_B = 68663 \text{ Н}$$

Далі знайдемо реакцію R_A .

$$\Sigma M_e = R_A(L_1 + L_2) + \frac{q(L_{p1} + L_2)^2}{2} - \frac{q(L_{p2} + L_2)^2}{2} - G_3(L_o - L_2) - M_{шк} = 0 \quad (2.13)$$

$$R_A(0,6 + 1,63) + \frac{223,5(1,33 + 1,63)^2}{2} - \frac{2213,5(4,035 - 1,63)^2}{2} - 2413(4,485 - 1,63) - 707,4 = 0 \quad (2.14)$$

$$R_A = 31375 \text{ Н}$$

Розподілене електродинамічне навантаження (по осі x), що діє на рукав електродотримача, буде саме себе компенсувати на рівній відстані від осі гасника. Тому знайдемо довжину тієї частини рукава, на якій розподілена електродинамічне навантаження не буде саме себе компенсувати:

$$L_x = (L_{p1} + L_2) - (L_{p2} - L_2) \quad (2.15)$$

$$L_x = (1,33 + 1,63) - (4,035 - 1,63) = 0,555 \text{ м}$$

На рукав електродотримача в горизонтальній площині діють крутні моменти:

$$M_1 = F_{x1}(L_o - L_2) + \frac{q_{\max.x}(L_o - L_2)^2}{2} \quad (2.16)$$

$$M_1 = 1271(4,485 - 1,63) + \frac{213(4,485 - 1,63)^2}{2} = 4496,8 \text{ Нм}$$

$$M_2 = \frac{q_{\max.x}(L_{p1} + L_2)^2}{2} \quad (2.17)$$

$$M_2 = \frac{213(1,33 + 1,63)^2}{2} = 933,1 \text{ Нм}$$

Повний крутний момент:

$$M_\Sigma = M_1 + M_2 = 4496, + 933,1 = 5,429 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (2.18)$$

Частота вимушених коливань $f = 50 \text{ с}^{-1}$

Згинальний момент, що діє на рукав в горизонтальній площині:

$$M_3 = M_\Sigma = 5,4291 \cdot 10^3 \text{ Нм}$$

Раніше було знайдено, що $W_Y = 3,235 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

Знайдемо напругу згину, що діє в горизонтальній площині:

$$\sigma = \frac{M_\Sigma}{W_Y} \quad (2.19)$$

$$\sigma = \frac{5,4291 \cdot 10^3}{3,235 \cdot 10^{-3}} = <[\sigma];$$

$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$, тобто умова міцності рукава на вигин виконується.

Згинальні моменти у вертикальній площині:

$$M_B = G(L_o - L_2) + \frac{q_o(L_{p2} - L_2)^2}{2} + M_1 \quad (2.20)$$

$$M_B = 25413(4,485 - 1,63) + \frac{2213(4,035 - 1,63)^2}{2} + 707,4 = 79663 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_A = G(L_1 + L_o) + \frac{q_o(L_1 + L_{p2})^2}{2} + M_1 - R_B(L_1 + L_2) \quad (2.21)$$

$$M_A = 25413(0,6 + 4,485) + \frac{2213,5(0,6 + 4,035)^2}{2} + 707,4 - 68663(0,6 + 1,63)$$

$$M_A = 591 \text{ Нм}$$

На кінці (протилежному електроду) рукав електродотримача:

$$M_k = G(L_{p1} + L_o) + \frac{q_o L^2}{2} + M_1 - R_B(L_{p1} + L_2) + R_A(L_{p1} - L_1) \quad (2.22)$$

$$M_k = 25413(1,33 + 4,485) + \frac{2213,5 \cdot (5,365)^2}{2} + 707,4 - 68663(1,33 + 1,63) + 31375(1,33 - 0,6)$$

$$M_k = - 706,3 \text{ Нм}$$

Максимальний згинальний момент у вертикальній площині:

$$M_{\text{из}} = M_B = 79663 = 79,669 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (2.23)$$

Раніше було знайдено, що $W_x = 4,373 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Знайдемо напругу згину, що діє у вертикальній площині:

$$\sigma_Y = \frac{M_B}{W_x} \quad (2.24)$$

$$\sigma_Y = \frac{79,663 \cdot 10^3}{4,373 \cdot 10^{-3}} = 18,22 \text{ МПа} < [\sigma]$$

Умова міцності на вигин виконується.

Напруження від крутіння, викликане взаємодією електродинамічних сил електродів:

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{M_{\text{кр}}}{W_p} \quad (2.25)$$

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{3,816 \cdot 10^3}{15,4 \cdot 10^{-3}} = 0,25 \text{ МПа} < [\tau_{\text{кр}}]$$

Це напруження кручення незначно збільшує еквівалентне напруження.

Еквівалентне напруження впливаючи на рукав:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_u^2 + 4\tau^2} = \sqrt{18.22^2 + 4 \cdot 0.25^2} = 18.22 < [\sigma] \quad (2.26)$$

$$18.22 < [160]$$

Умова виконується.

3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження механічних коливань електродотримачів дугових електросталеплавильних печей

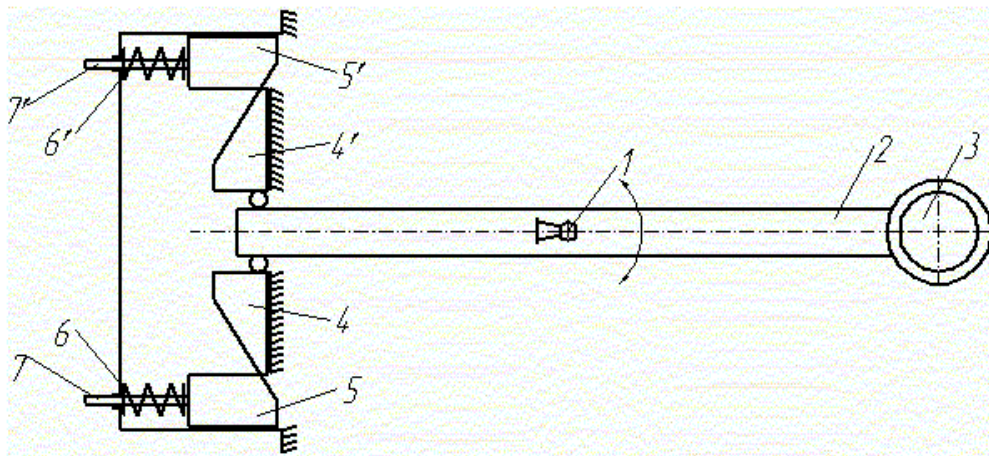
Питанням гасіння механічних коливань електродотримачів, що викликаються електричною взаємодією фаз, присвячені багаточисельні дослідницькі роботи, як вітчизняних, так і зарубіжних авторів, що свідчить про надзвичайну важливість вирішуваного завдання. Особливо загострилося це питання при впровадженні надпотужних печей, оскільки помітно підвищилася витрата електродів в результаті їх поломок через інтенсивність вібраційного навантаження.

Серед відомих технічних рішень, що направлені на зниження інтенсивності коливань і набули найбільш широкого поширення, є пружнодемпферні роликові опори рухливих стійок і рухливих кареток і багато конструкцій гасителів коливань, що встановлюються на різних ділянках рукавів електродотримачів. Проте і вони не дозволяють повністю вирішити проблему гасіння коливань до прийнятних меж. І причиною тому є не стільки їх конструктивні або функціональні недоліки, скільки традиційний принцип жорсткого з'єднання рукава із стійкою або кареткою. При такому з'єднанні система електродотримача відрізняється великою жорсткістю при украй малій дисипації і в разі дії на неї зовнішніх електродинамічних сил здійснює високочастотні коливання, що супроводжується високою інтенсивністю циклічного навантаження, як самого електродотримача, так і електроду. Крім того, при такому з'єднанні в системі електродотримача пружні (поновлюючи) сили значно перевищують дисипативні (що гасять) сили, тобто система володіє украй малою дисипацією, внаслідок чого має місце тривалий період загасання коливань, що також негативно позначається, перш за все, на стані електродів. І головне те, що жорстка система електродотримача обмежена в своїх можливостях відносно подальшого

підвищення рівня її дисипації. Тому подальші спроби поліпшення її динамічних якостей не приведуть до помітних результатів.

Метою цієї роботи є розробка заміни жорсткої системи електродотримача на шарнірно-демпферну, таку, що володіє необмеженою можливістю забезпечення її високою дисипацією. Проте її висока ефективність може бути забезпечена лише при високих дисипативних властивостях демпферів. [47]

Основна частина дослідження приділялося пошукам найбільш прийняттого варіанту демпферів на основі сухого тертя (рис.3.1). Такий демпфер є клиноподібними контактуючими елементами з трьома або чотирма ділянками тертя в кожній парі клинів. Величина сил тертя визначається зусиллям стискування пружин (витих або тарілчастих). Можуть бути також використані і ресори. Якщо використовуються тарілчасті пружини, то ще додається потужне джерело дисипації, оскільки в процесі деформації тарілок між їх торцями виникають сили тертя, пропорційні величині зусилля стискування пружин. Для спрощення аналізу процесу сили тертя в пружинах не враховувалися.[47]



*1 – вісь рукава; 2 – рукав; 3 – електрод; 4, 4', 5, 5' – клини; 6, 6' – пружини;
7, 7' – тяга з натискними гайками*

Рис 3.1 – шарнірно-демпферна система електродотримача.

На рис.3.1 показана схема сил, що виникають в демпфері в результаті взаємодії клинів 4, 5 при прямому (від осі рукава) і зворотному (до осі рукава) рухах клину 4, сполученого з рукавом. Причому розглядається

випадок, коли клини 5,5' у вихідному положенні заздалегідь підібгані пружинами 6,6', а при відхиленні рукава від вихідного положення взаємодіє лише одна пара клинів (4,5 або 4', 5').

Застосувавши відповідно до рис.2.1 відомі методи рішення, отримали вираження для визначення сил тертя при прямому і зворотному рухах клинів рукава:

$$T_0 = 2C(\delta + x)\mu \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha + 2\mu \sin \alpha}, \quad (3.1)$$

де:

c – жорсткість пружини;

δ - величина попереднього стискування пружини;

x – поточне значення стискування пружини при відхиленні рукава від вихідного положення (амплітуда коливань);

α - кут скосу клину рукава;

μ - коефіцієнт тертя між клинами.

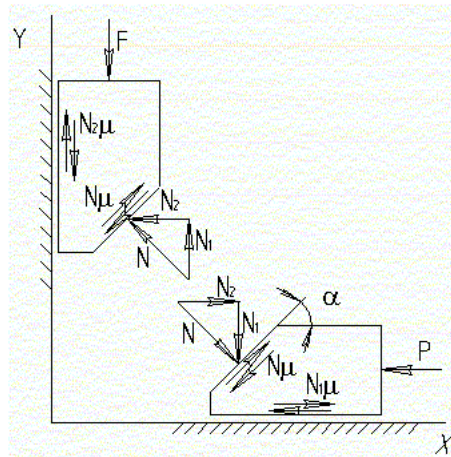


Рисунок 3.2 – До визначення сил тертя.

Графік залежності сил тертя від величини зміщення клинів рукава від початкового положення показаний на рис.3.3, а.

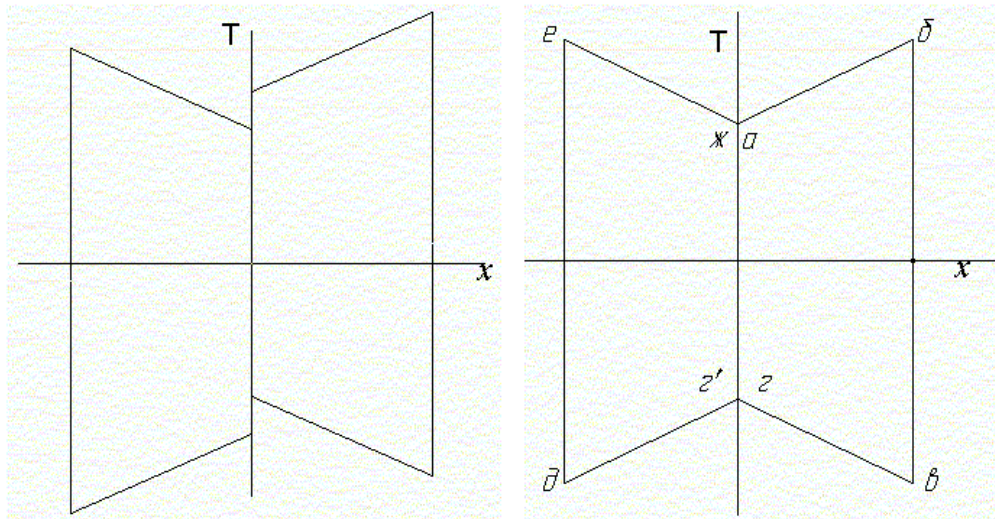


Рисунок 3.3 - Графіки залежності сил тертя від величини переміщення клинів рукава.

Отримана залежність являє собою асиметричну нелінійність, яка не піддається точному математичному опису, зручному для подальшого аналітичного дослідження. Для отримання симетричної нелінійності визначимо середнє значення сили тертя:

$$T_{cp} = \frac{1}{2} 2C(\delta + x)\mu \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha - 2\mu \sin \alpha} + \frac{1}{2} 2C(\delta + x)\mu \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha + 2\mu \sin \alpha} \quad (3.2)$$

або

$$T_{cp} = C(\delta + x)\mu \left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha - 2\mu \sin \alpha} + \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha + 2\mu \sin \alpha} \right) \quad (3.3)$$

Вводимо позначення наведеного коефіцієнта тертя:

$$\mu_0 = \mu \left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha - 2\mu \sin \alpha} + \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha + 2\mu \sin \alpha} \right) \quad (3.4)$$

Після деяких перетворень остаточно отримали:

$$\mu_0 = 2\mu \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 - 4\mu^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \quad (3.5)$$

З цього виразу видно, що наведений коефіцієнт тертя залежить від кута клину рукава. Особливо різке зростання величини приведенного коефіцієнта починається з кута $\alpha = 45^\circ$ і більше. З графіка (рис. 3.4) при $\mu=0,1$ випливає, що при $\alpha=45^\circ$ $\mu_0 \approx 0,2$, а при $\alpha=60^\circ$ $\mu_0 \approx 0,4$.

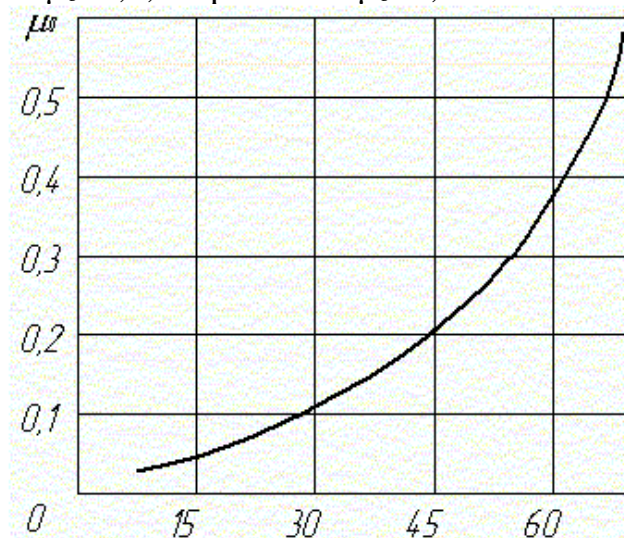


Рисунок 3.4 - Залежність приведенного коефіцієнта тертя від кута клину рукава.

Таким чином, розглянута конструкція демпфера дозволяє збільшити величину сили тертя в 2 ... 4 рази в порівнянні зі звичайними конструкціями демпферів.

Середнє значення сили тертя з урахуванням наведеного коефіцієнта тертя визначається по формулі:

$$T_{cp} = C(\delta + x)\mu_0 \quad (3.6)$$

Нелінійність сухого тертя по середньому значенню представлена на графіку (рис.3.3, б), а її математична модель може бути представлена у вигляді:

$$T = C(\delta + |x|)\mu_0 \frac{\dot{x}}{|\dot{x}|} \quad (3.7)$$

Якщо врахувати, що коливальний процес має синусоїдальний характер ($x' = A\sin\omega t$), то зміна сили тертя буде мати вигляд, показаний на рис.3.5.

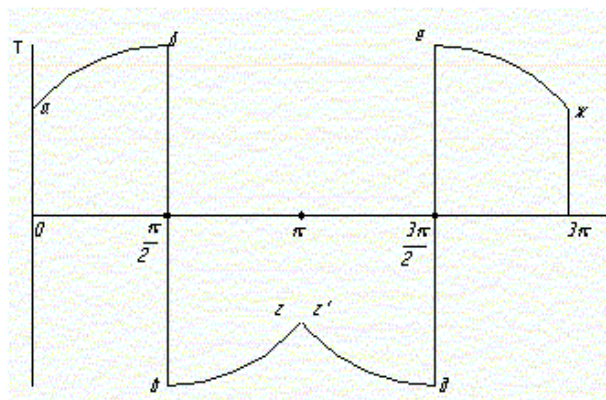


Рисунок 3.5 - Зміна сили тертя при синусоїдальній характер коливального процесу.

Згідно рис.3.3, б і 3.5 в момент часу a клин 4 починає взаємодіяти з клином 5, переміщаючи останній в сторону стиснення пружини 6. При цьому сила тертя зростає пропорційно величині переміщення. У момент часу b змінюється напрям руху клину, що призводить до зміни знаку сили тертя (момент часу b) від моменту часу b до z відбувається зворотний рух клину 4, що призводить в міру розжимання пружини до поступового зниження величини тертя. У момент часу z припиняється взаємодія між клинами 4,5 і починають взаємодіяти клини 4', 5' до моменту часу d . У міру стиснення

пружини б'сила тертя зростає. У момент часу d клин 4 'змінює спрямованість руху і, отже, змінюється знак сили тертя (момент часу e). У момент часу $ж$ клин 4 'і, отже, рукав 2 повертаються у вихідне положення.

Якщо врахувати, що в демпфері може бути створена подвоєна або навіть сила тертя збільшена у чотири рази, а плечі сил тертя порівняно з плечем зосередженої електродинамічної сили, що впливає на електродотримач, то не представляє труда привести у відповідність співвідношення збурюючих і дисипативних сил. Тобто вибрати такі параметри демпфера, при яких величини цих сил будуть одного порядку, чого неможливо досягти за допомогою відомих, як вітчизняних, так і зарубіжних технічних рішень. В результаті можна створити умови для високоефективного процесу гасіння коливань.

3.2 Опис експерименту

Мета експерименту полягала в дослідженнях загасань механічних коливань моделі електродотримача ДСП-50 при куті клину демпферів 45° та 30° і їх різних зусиллях підтискання.

Величина сил тертя визначається зусиллям стискування витих пружин. Було проведено тарування пружин (таблиця 3.1):

Навантаження , Н	Довжина пружини, мм
0	112
10	102
20	92
30	82
40	72
50	62
60	52
70	42
80	32
90	22
100	12

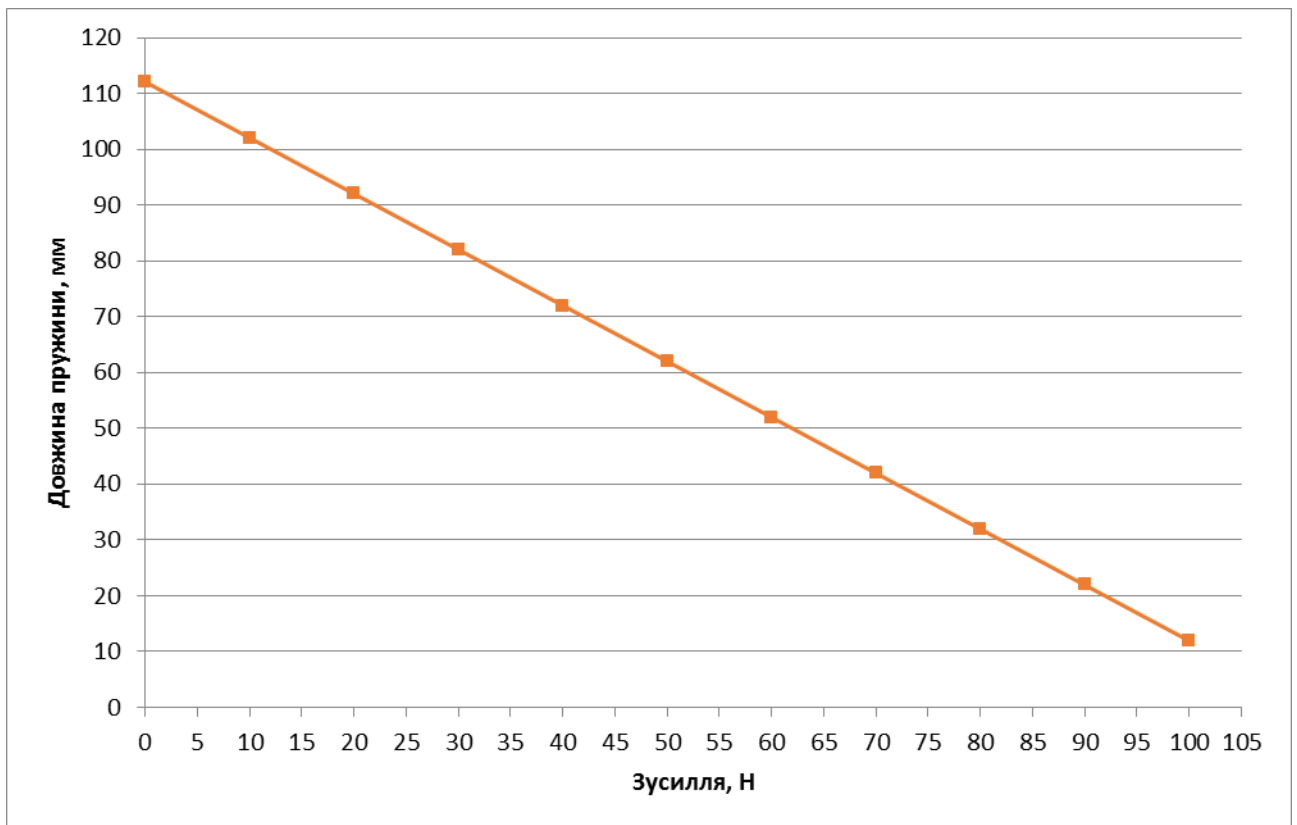


Рисунок 3.6 Діаграма залежності зміни довжини пружини від докладеного зусилля

Схема адекватної моделі складається з БЖ (блок живлення), ВМ (виконавчого механізму), ЕТ (електродотримача) і ВА (вимірювальної апаратури).

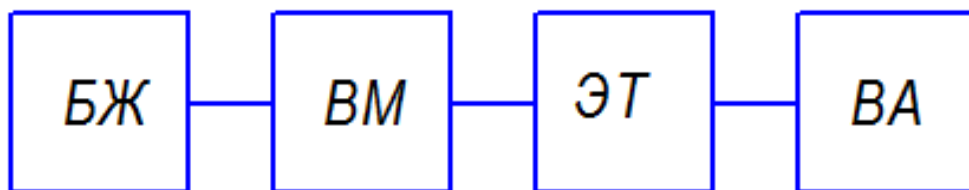


Рисунок 3.7 Схема адекватної моделі

3.2.1 Вимірювальна апаратура

Для зняття свідчень тензодатчиків використовувався вимірювальний модуль МС-212 розроблений НПП «Мера».[44, 45,46]

1) Вимір відносної напруги тензодатчиків. Робота з мостовими, 1/2-мостовими і 1/4-мостовими тензодатчиками опором 100 ... 1000 Ом.

2) Проведення статичних і статико-динамічних вимірів. Вимір механічних навантажень, зусиль (тяга, вага), високоточний вимір лінійних переміщень, виміри тиску і так далі.



Рисунок 3.8 Вимірювальний модуль MS-212

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики MS-212 [44]:

Параметр	Значення
1) кількість каналів	4
2) Діапазони виміру, мВ/В	0 ... 2; ± 2 0 ... 4; ± 4 0 ... 8; ± 8 0 ... 16; ± 16 0 ... 32; ± 32
3) Розрядність АЦП, біт	16
4) Частота опиту по каналу модуля, Гц	30 ... 1 536, 30 ... 7600 (з відключеними фільтрами)
5) Напруга живлення датчиків, В	2,5; 5
6) Частота напруги живлення датчиків, Гц	25 ... 40; постійний струм
7) Основна приведена погрішність, %	0,05

Вимірювальний модуль має функцію самодіагностики, сигналізації про перевантаження і перевірки входних ланцюгів кожного каналу на обрив і коротке замикання.

Модуль оснащений функціями балансування нуля, а так само має низьку основну приведену погрішність (0,05 %). Має вбудований фільтр. Частота опиту складає 30 ... 1 536 Гц/канал (з включеним фільтрами) і 30 ... 7600 Гц/канал (з вимкненими фільтрами).

Модуль здійснює живлення датчика. Для особоточних статичних вимірів живлення датчика ведеться в знакозмінному режимі. Для динамічних вимірів – в знакопостійному режимі.

Зняття електричних сигналів відбувається з тензодатчиків опір яких $R=50$ Ом, приклеєних на металеву лінійку, яка у свою чергу прикладена до електродотримача, амплітуди якого згинають пружний елемент (лінійку), тим самим змінюючи опір тензодатчиків і відповідно напругу (mV) вихідного сигналу що поступає на модуль МС 212.

3.2.2. Блок живлення

Виходячи з вищевикладеного зібрана електрична схема, що складається із стабілізатора змінної напруги і діодного моста. Для здобуття постійної (а не пульсуючої) напруги схема була доповнена фільтром на конденсаторі.

Максимально допустимий струм який може пропустити напівпровідник $I=10$ А. Ємність конденсатора 300 мкФ. Напруга на виконавчому механізмі $U=110$ V.

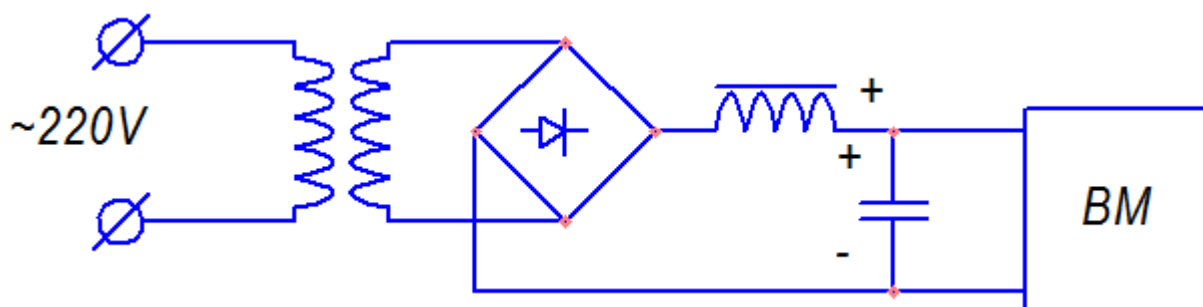


Рисунок 3.9 Електрична схема БЖ виконавчого механізму

3.2.3 Виконавчий механізм

Адекватна модель електродотримача у відключеному стані імітує плавку, імітацію на електродотримач електродинамічних сил створює система з тросів, вантажів і важелів, які зміщують конструкцію відносно первинного положення. Імітація розриву електричної дуги проводиться подачею напруги на електромагніти 1 і 2, сердечники втягуються в котушку, при цьому звільняючи систему важелів від прикладених до неї навантажень.

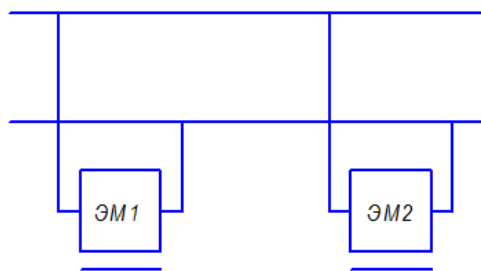


Рисунок 3.10 Схема підключення електромагнітів

3.2.4 Електродотримач

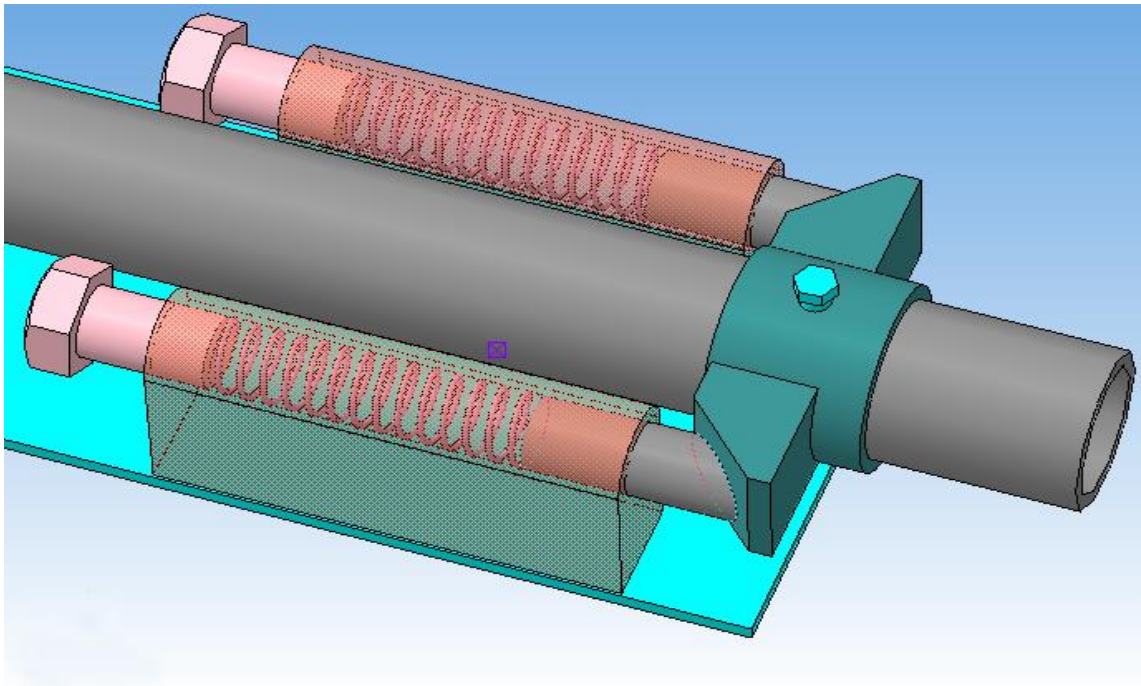


Рисунок 3.10 3-D модель конструкції демпфера для гасіння механічних коливань

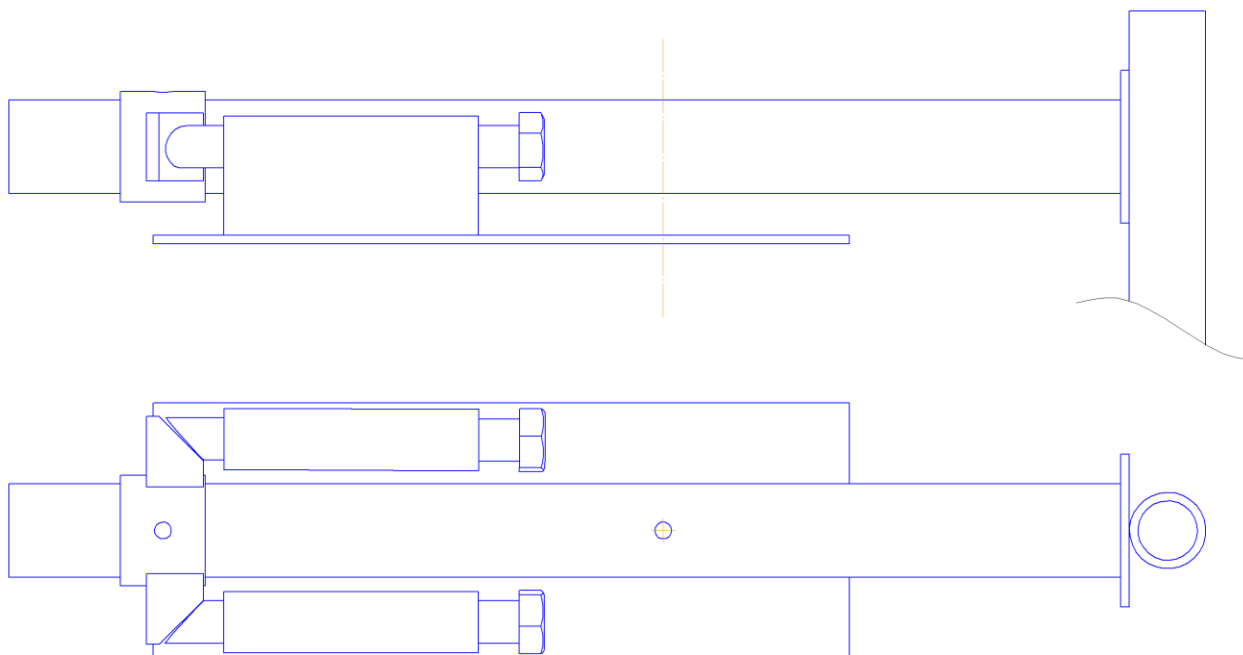


Рисунок 3.11 - Проекційні види експериментальної установки рукава електродотримача.

3.2.5 Реєстрація даних і експрес аналіз Recorder [45]

Програма Recorder призначена для роботи у складі вимірювального комплексу МІС.

Програма дозволяє:

- здійснювати введення оцифрованих аналогових сигналів з вимірювальних модулів і зберігати їх на довготривалих носіях;
- Автоматично визначати конфігурацію комплексів - тип і розташування, встановлених модулів, встановлених плат, підключених зовнішніх модулів;
- проводити калібрування модулів і вимірювальних каналів комплексів;
- проводити градування вимірювальних каналів комплексів і вимірювальних систем, побудованих на їх основі.

Recorder дозволяє переглядати вимірюваний сигнал в темпі експерименту в графічній (графіки, осцилограми, гістограми) і цифровій виставі. Програма містить процедуру що дозволяє проводити автоматизовану метрологічну перевірку вимірювальних каналів

комплексів відповідно до “Методики перевірки”. Дана процедура дозволяє робити статистичну обробку результатів вимірів з метою визначення характеристик погрішності при проведенні метрологічної атестації вимірювальних систем, побудованих на основі комплексів, і отримувати підсумкові протоколи перевірки.

За допомогою цієї програми було записано 157 осцилограмм, з них 118 записів було вироблено при налаштуванні експериментальної установки і 38 осцилограмм за планом експерименту.

Recorder створює папку з назвою USML і зберігає записані дані при різних кутах і зусиллях поджатия пружини (таблиця 3.3):

Кут клина, град	Кількість витків болта	Ім'я папок
45	4	signal0117- signal 0120
45	12	signal0121- signal 0124
45	24	signal0125- signal 0128
30	4	signal0129- signal 0132
30	12	signal0133- signal 0136
30	24	signal0137- signal 0141

3.2.6 Передача виміру в WinПОС для докладного аналізу.

Розраховані імовірнісні характеристики для збільшених фрагментів (рис.3.13, 3.16, 3.19, 3.23, 3.26, 3.29). Отримані дані наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 -

	$\alpha = 45^\circ$			$\alpha = 30^\circ$		
	4	12	24	4	12	24
Математичне очікування	60	$7,99244e^{-88}$	99.0392	0.981047	$-4.22461e^{-77}$	$-6.82214e^{-77}$
Дисперсія	22632,5	5354.86	13990.9	8571.21	3272.57	10170.1
Середньоквад- ратичне відхилення.	150,441	73.1769	118.283	92.5808	57.2064	100.847
Асиметрія	0,138977	-0.102371	0.145132	0.0346073	0.252372	0.438645
Екссес	2,95511	2.236	3.07573	2.99567	2.74331	4.31569
Амплітуда	364	155	313.5	250.5	137.5	296

Оскільки WinПос є програмою виключно з російським інтерфейсом, означення на наведених нижче осцилограмах приведені на язиці оригіналу.

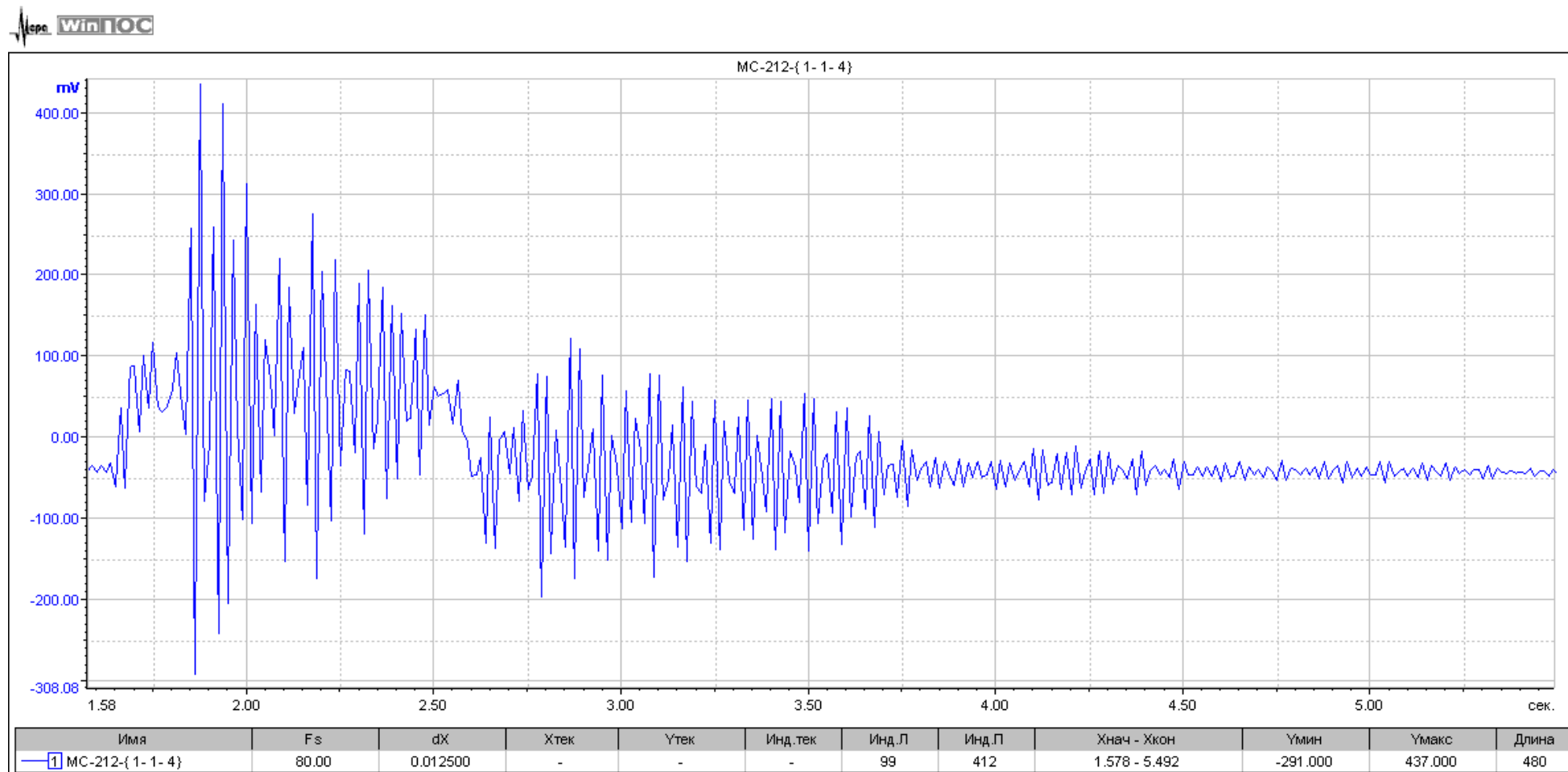


Рисунок 3.12 Осцилограмма «signal0118». $\alpha = 45^\circ$. Кількість витків 4

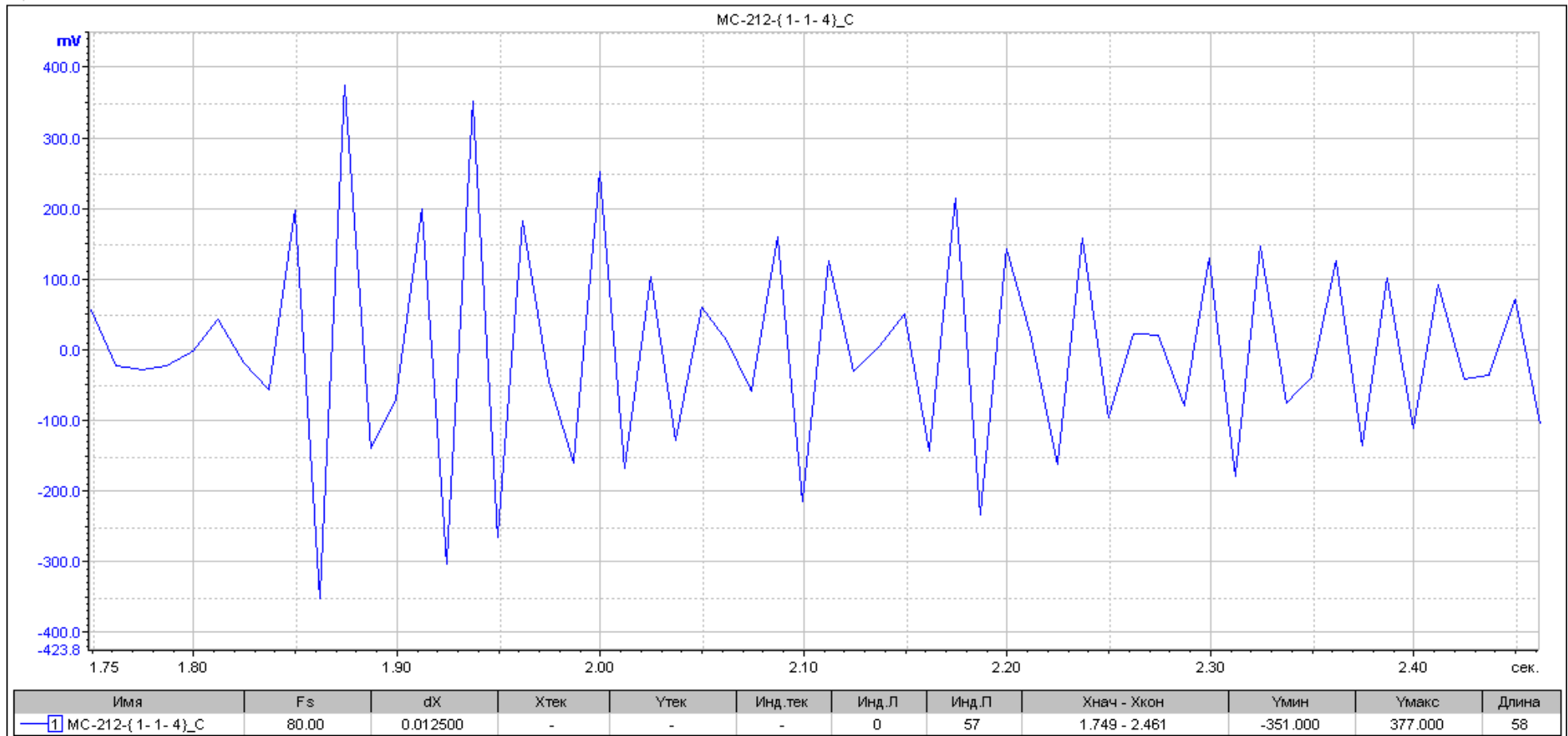


Рисунок 3.13 Збільшений фрагмент осцилограми «signal0118». $\alpha = 45^\circ$. Кількість витків 4

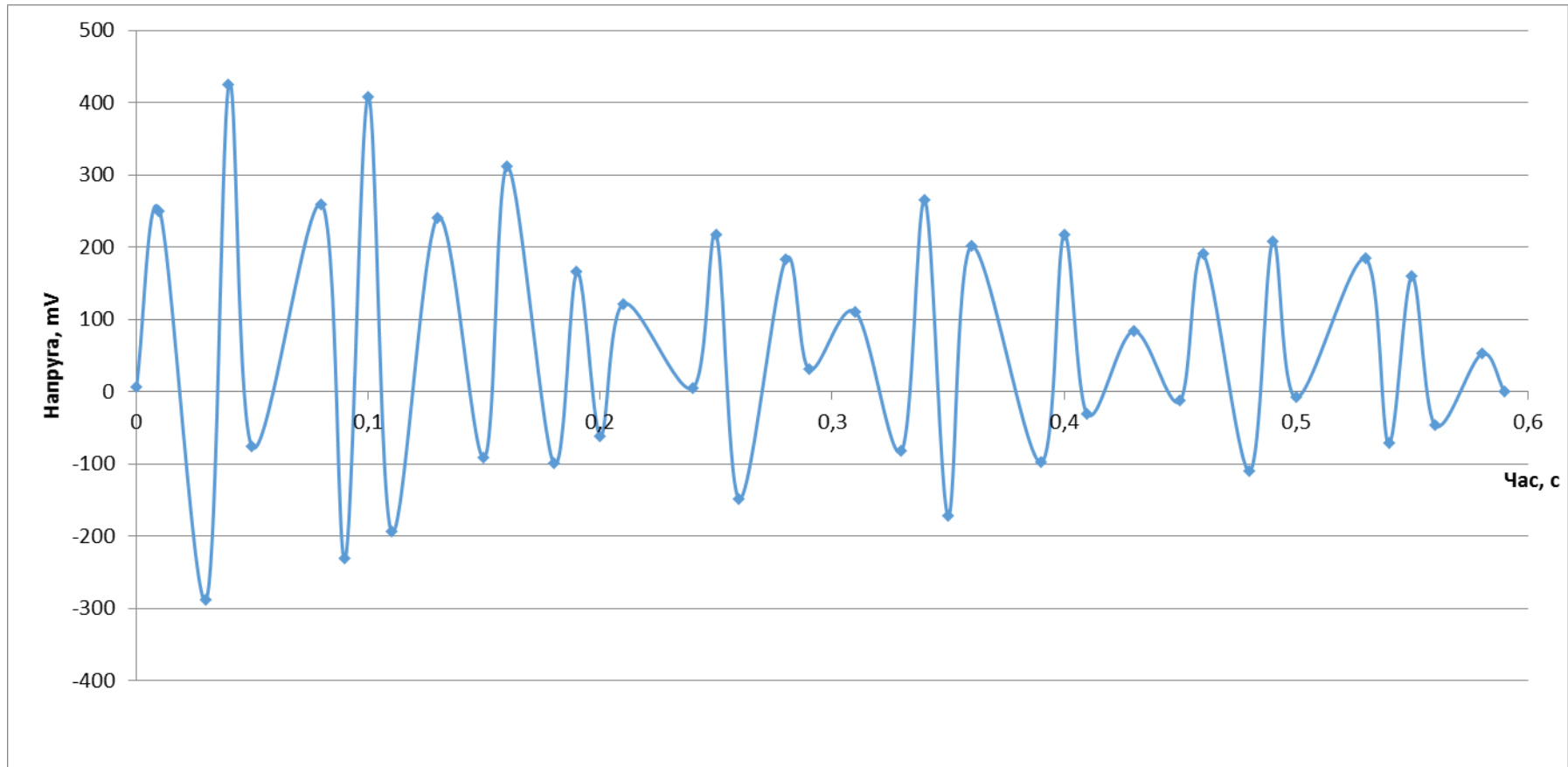


Рисунок 3.14 Оброблений фрагмент осцилограми «signal0118». $\alpha = 45^\circ$. Кількість витків 4

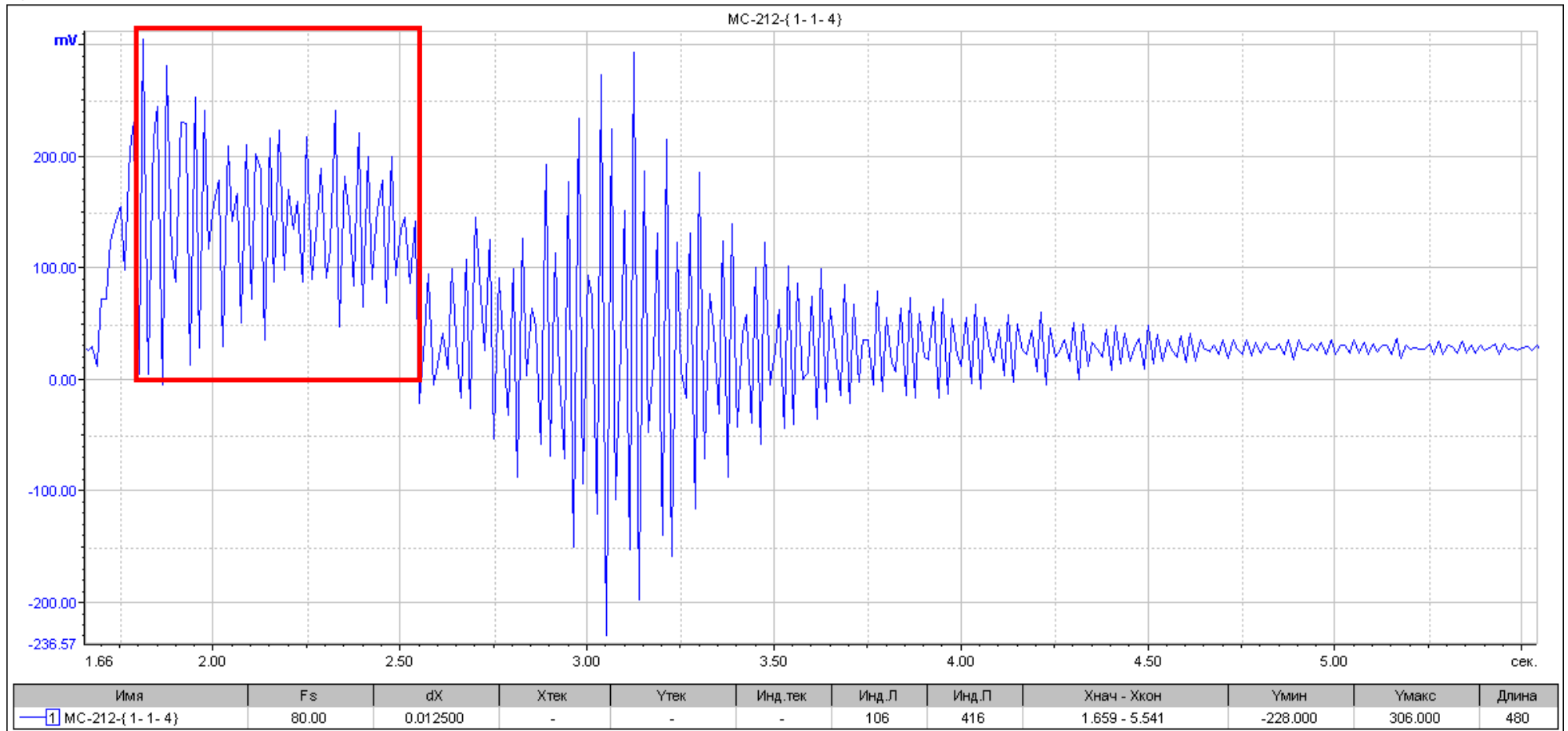


Рисунок 3.15 Осцилограмма «signal0122». $\alpha = 45^\circ$. Кількість витків 12

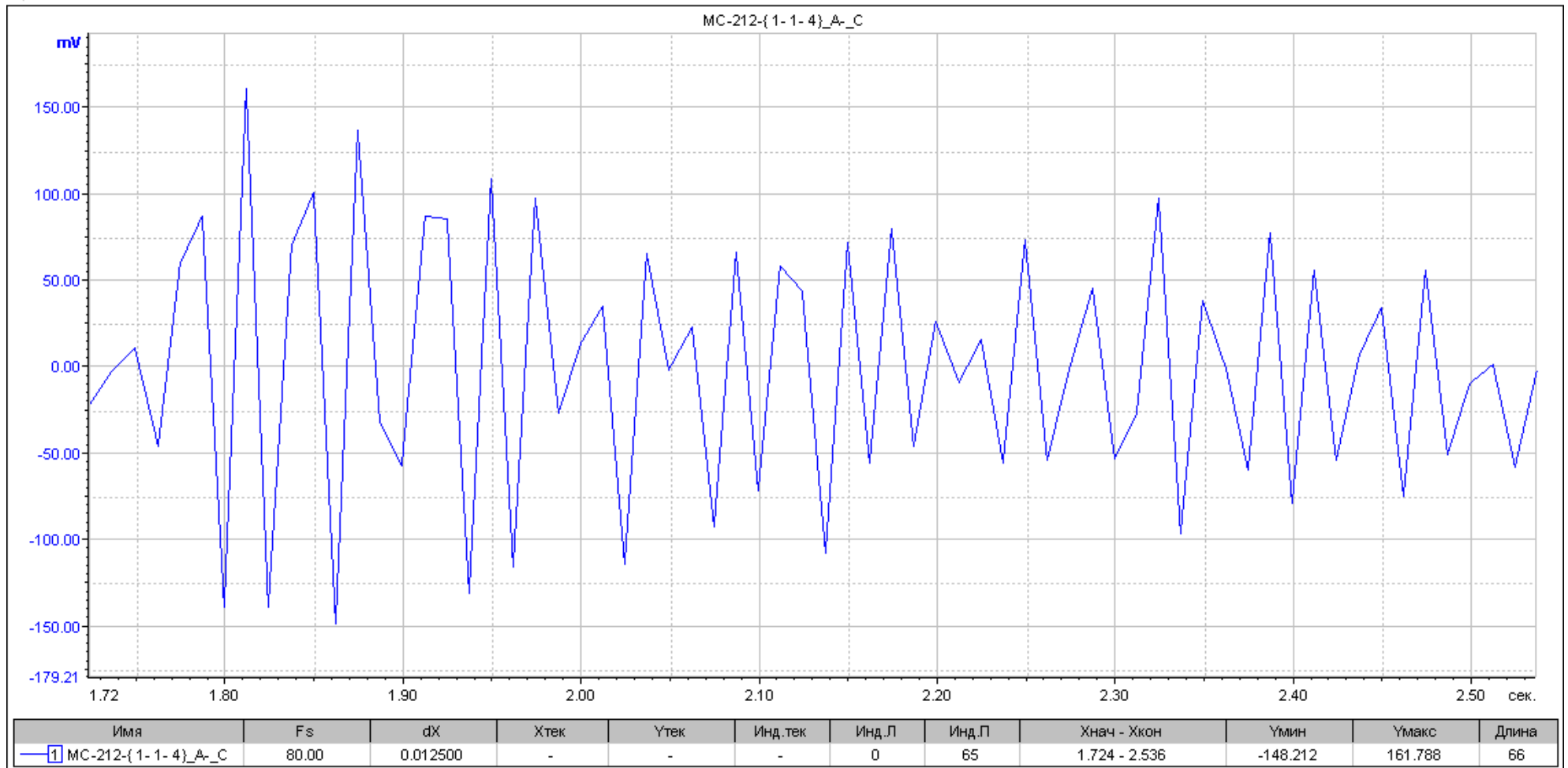


Рисунок 3.16 Збільшений фрагмент осцилограми «signal0122». $\alpha = 45^\circ$. Кількість витків 12

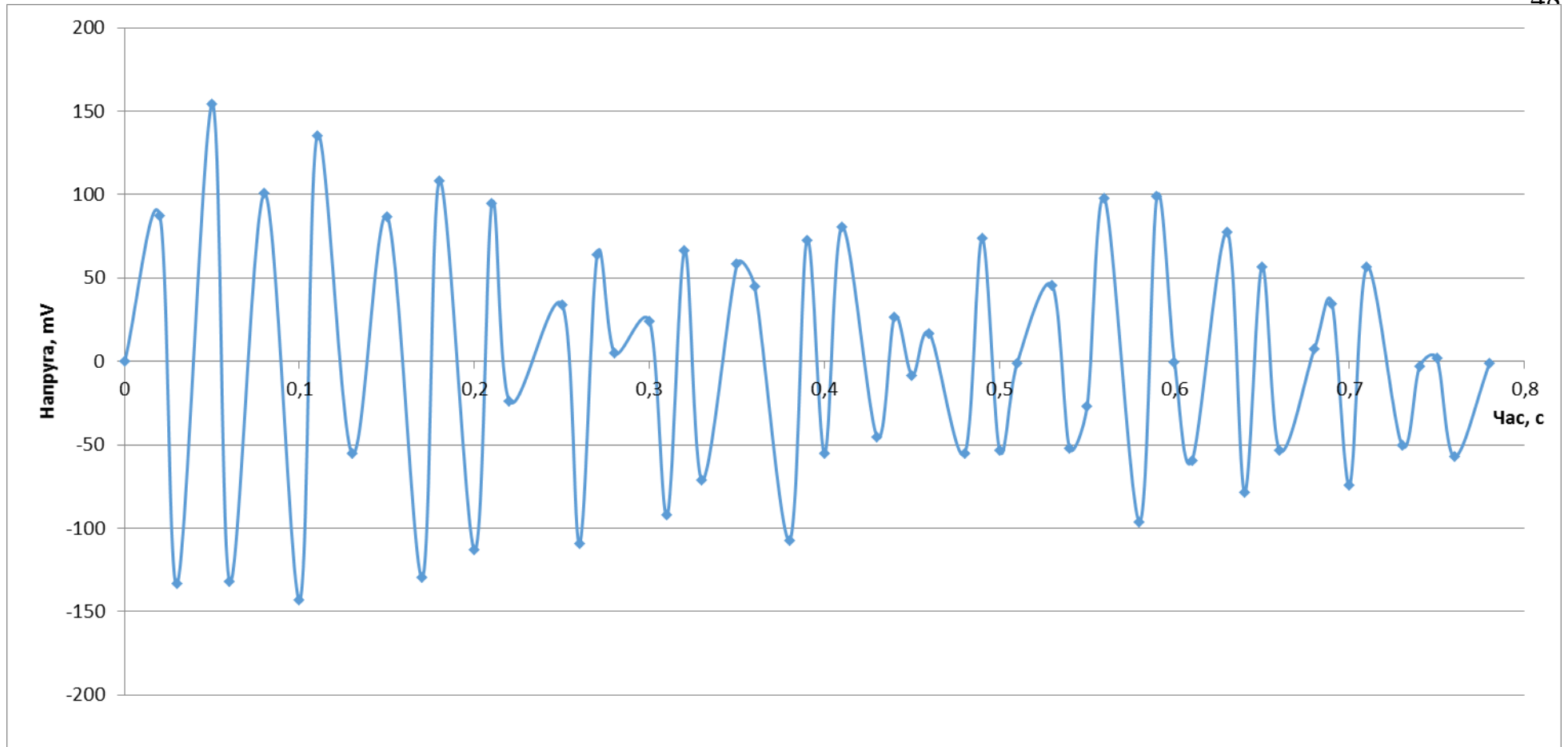


Рисунок 3.17 Оброблений фрагмент осцилограми «signal0122». $\alpha = 45^\circ$. Кількість витків 12

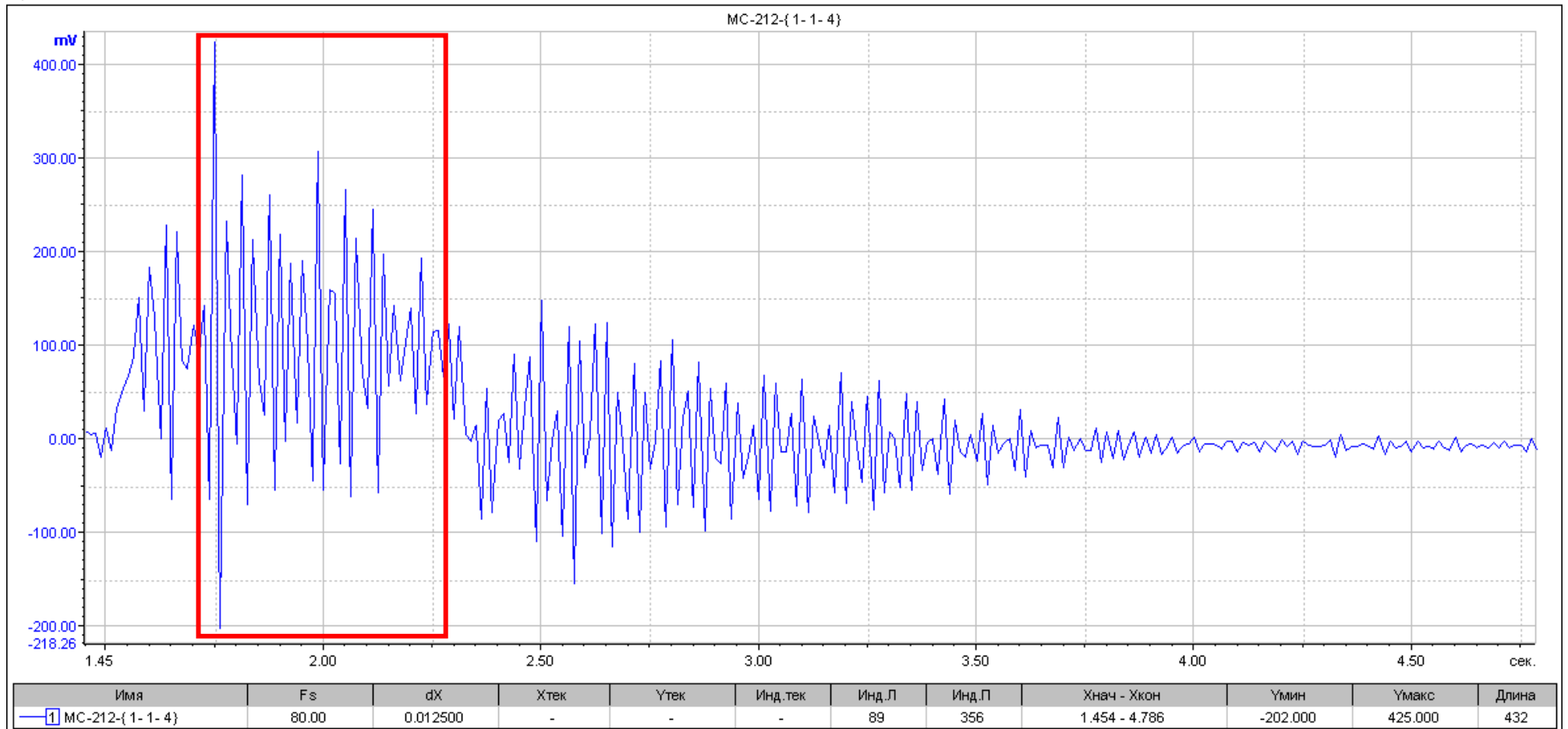


Рисунок 3.18 Осцилограмма «signal0125». $\alpha = 45^\circ$. Кількість витків 24

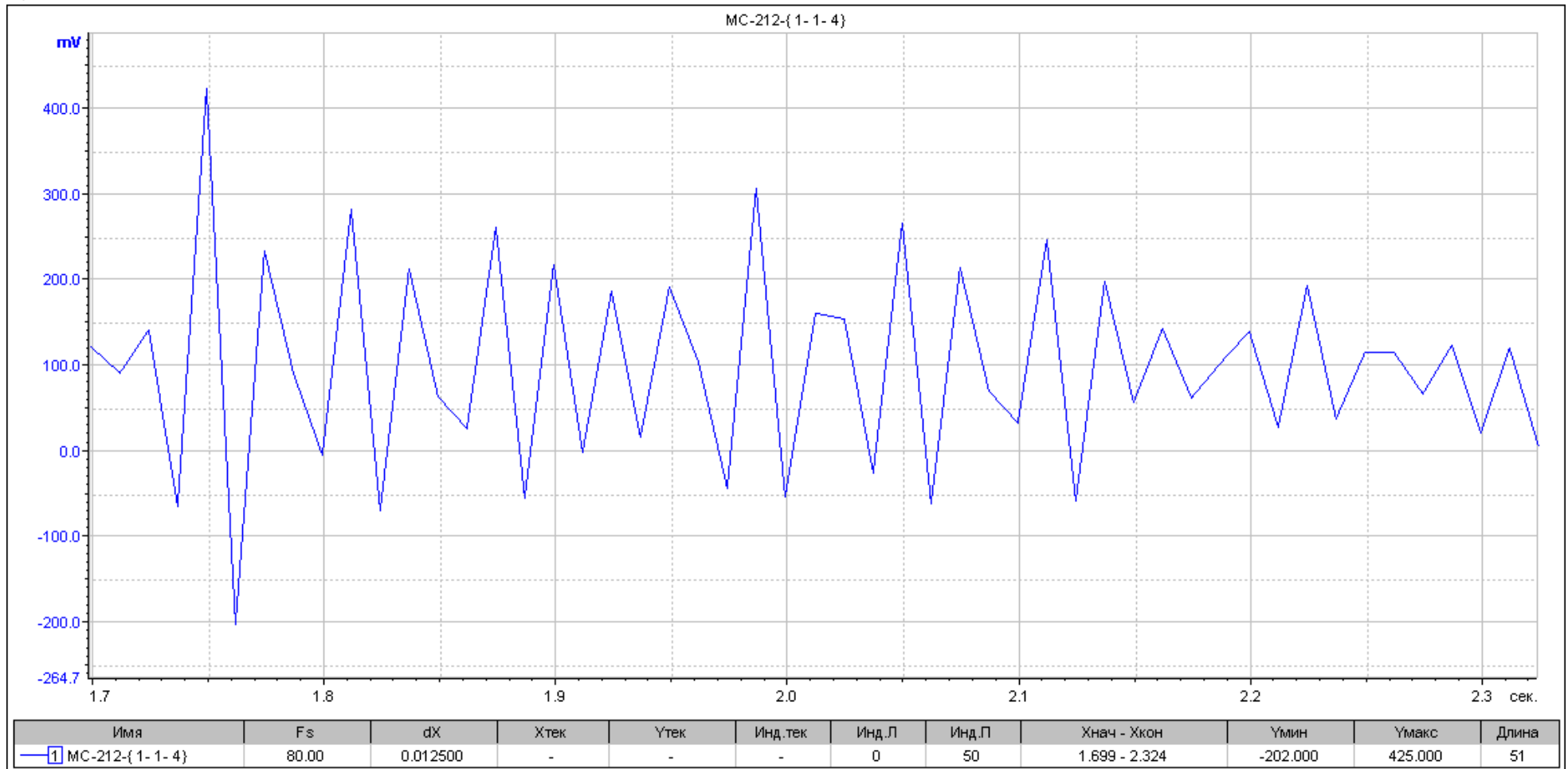


Рисунок 3.19 Збільшений фрагмент осцилограми «signal0125». $\alpha = 45^\circ$. Кількість витків 24

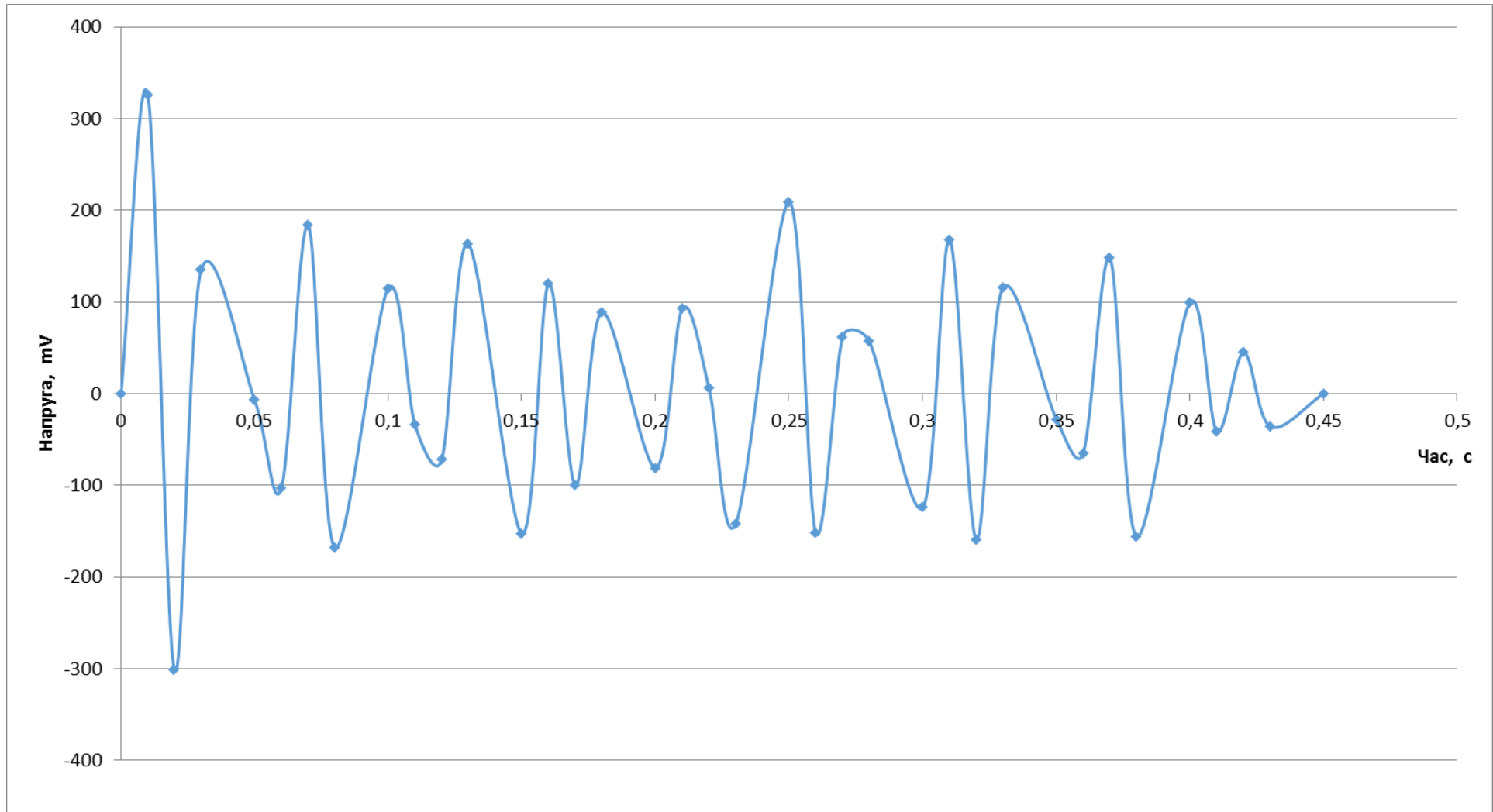


Рисунок 3.20 Оброблений фрагмент осцилограми «signal0125». $\alpha = 45^\circ$. Кількість витків 24

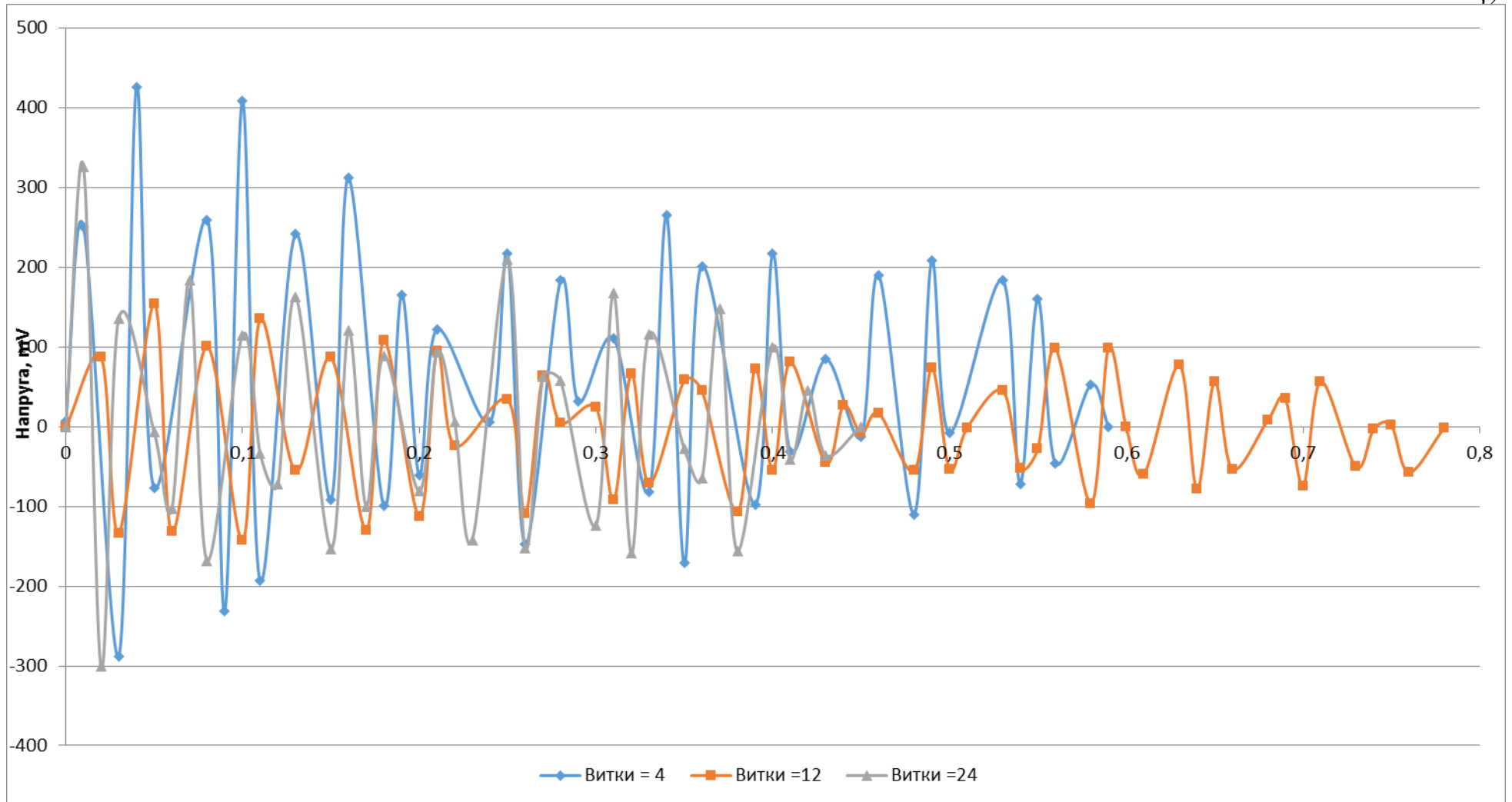


Рисунок 3.21 Порівняння загасань при різному зусиллі підтискання пружини. $\alpha = 45^\circ$.

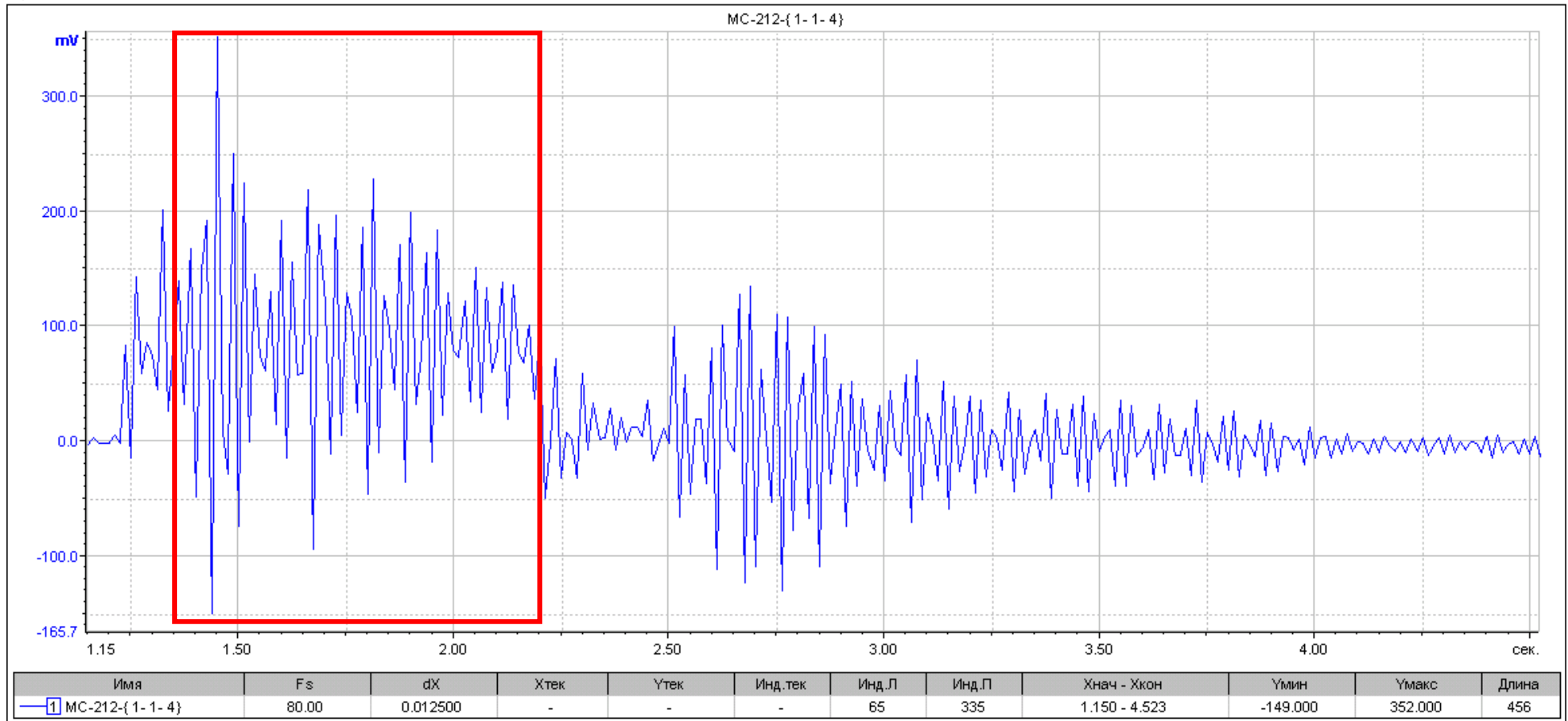


Рисунок 3.22 Осцилограмма «signal0129». $\alpha = 30^\circ$. Кількість витків 4.

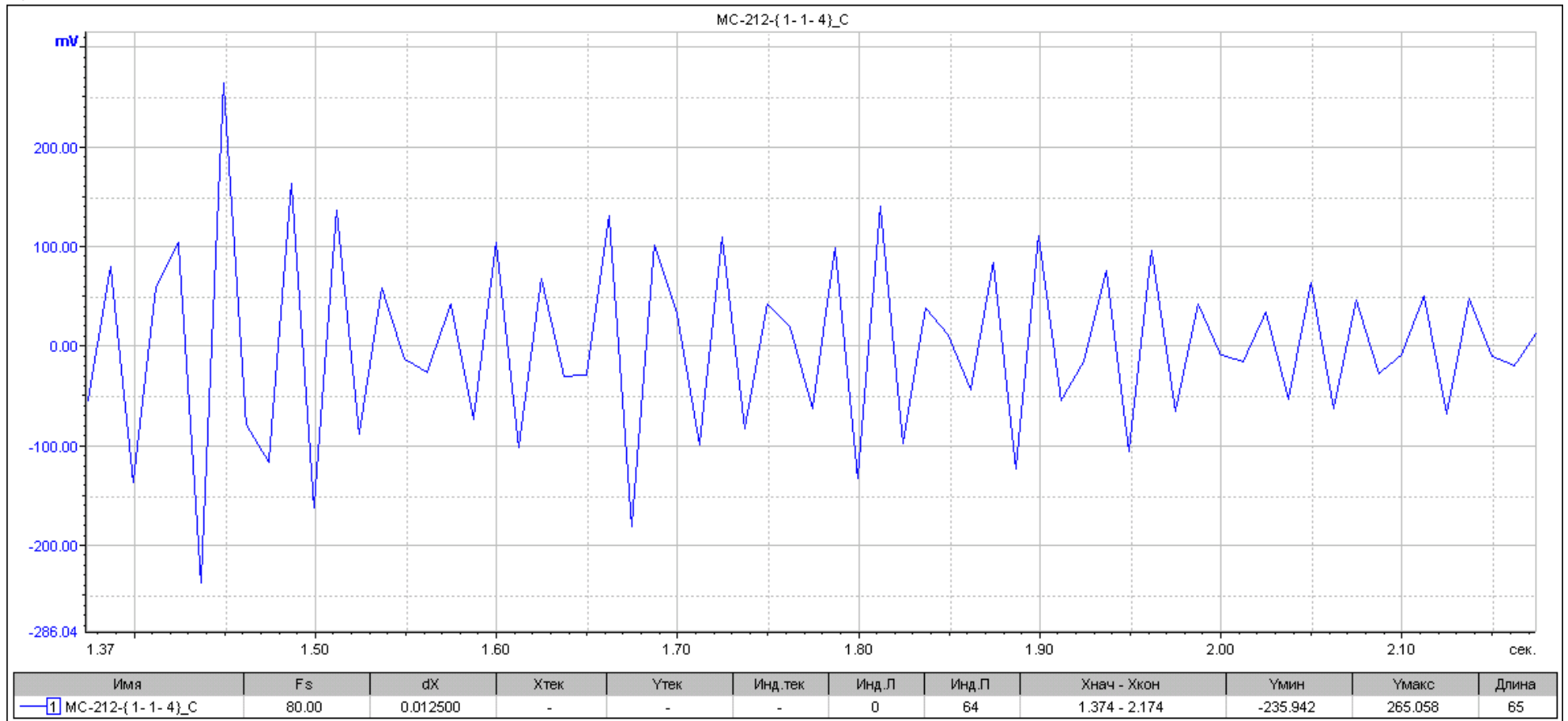


Рисунок 3.23 Збільшений фрагмент осцилограми «signal0129». $\alpha = 30^\circ$. Кількість витків 4.

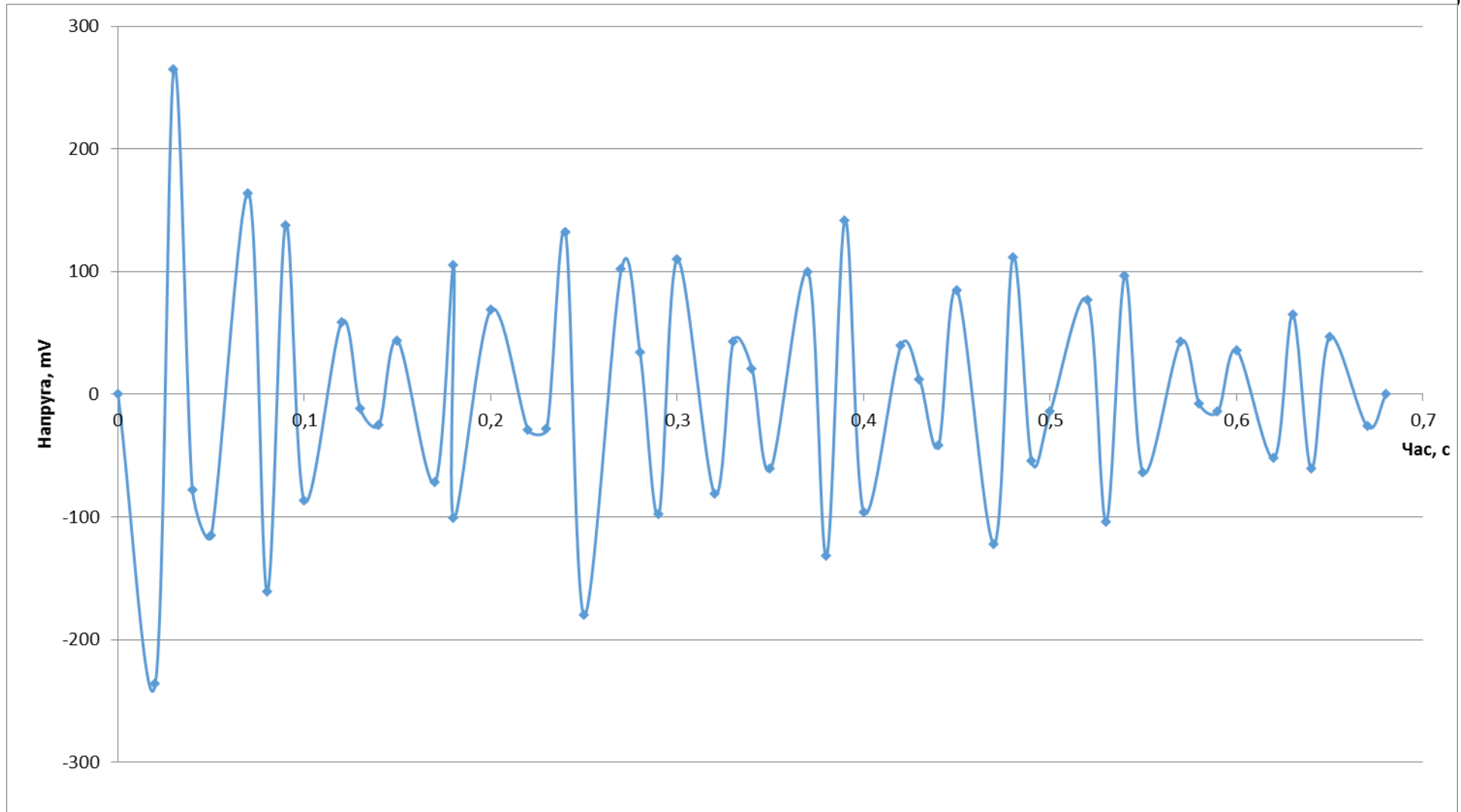


Рисунок 2.24 Оброблений фрагмент осцилограми «signal0129». $\alpha = 30^\circ$. Кількість витків 4

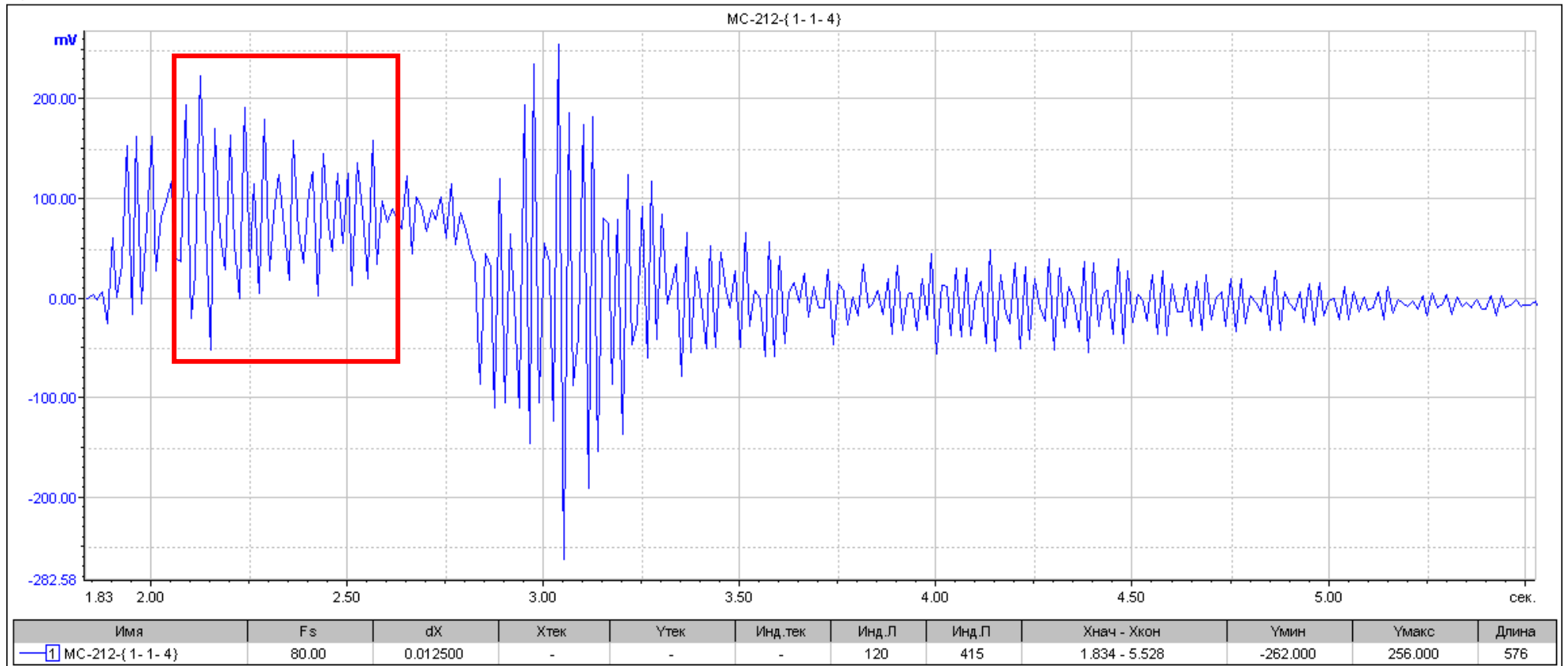


Рисунок 3.25 Осцилограмма «signal0133». $\alpha = 30^\circ$. Кількість витків 12.

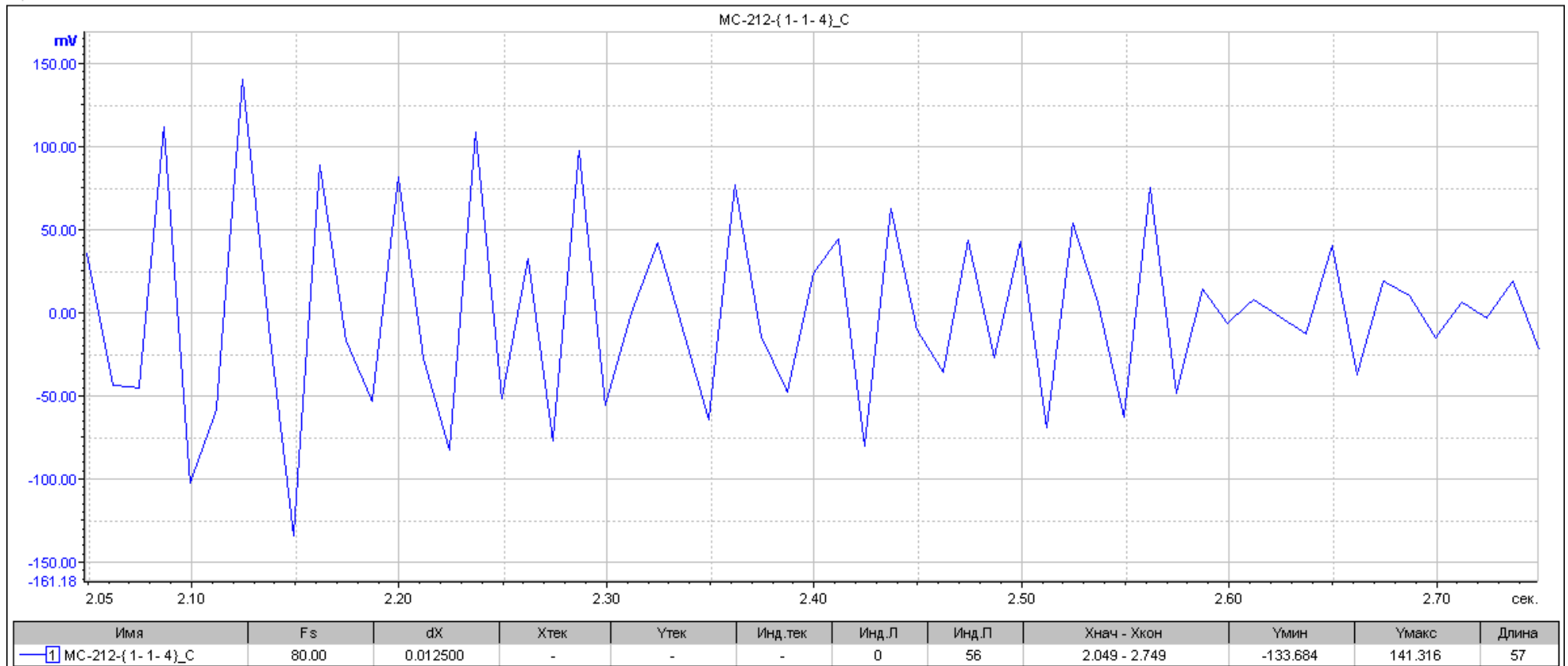


Рисунок 3.26 Збільшений фрагмент осцилограми «signal0133». $\alpha = 30^\circ$. Кількість витків 12

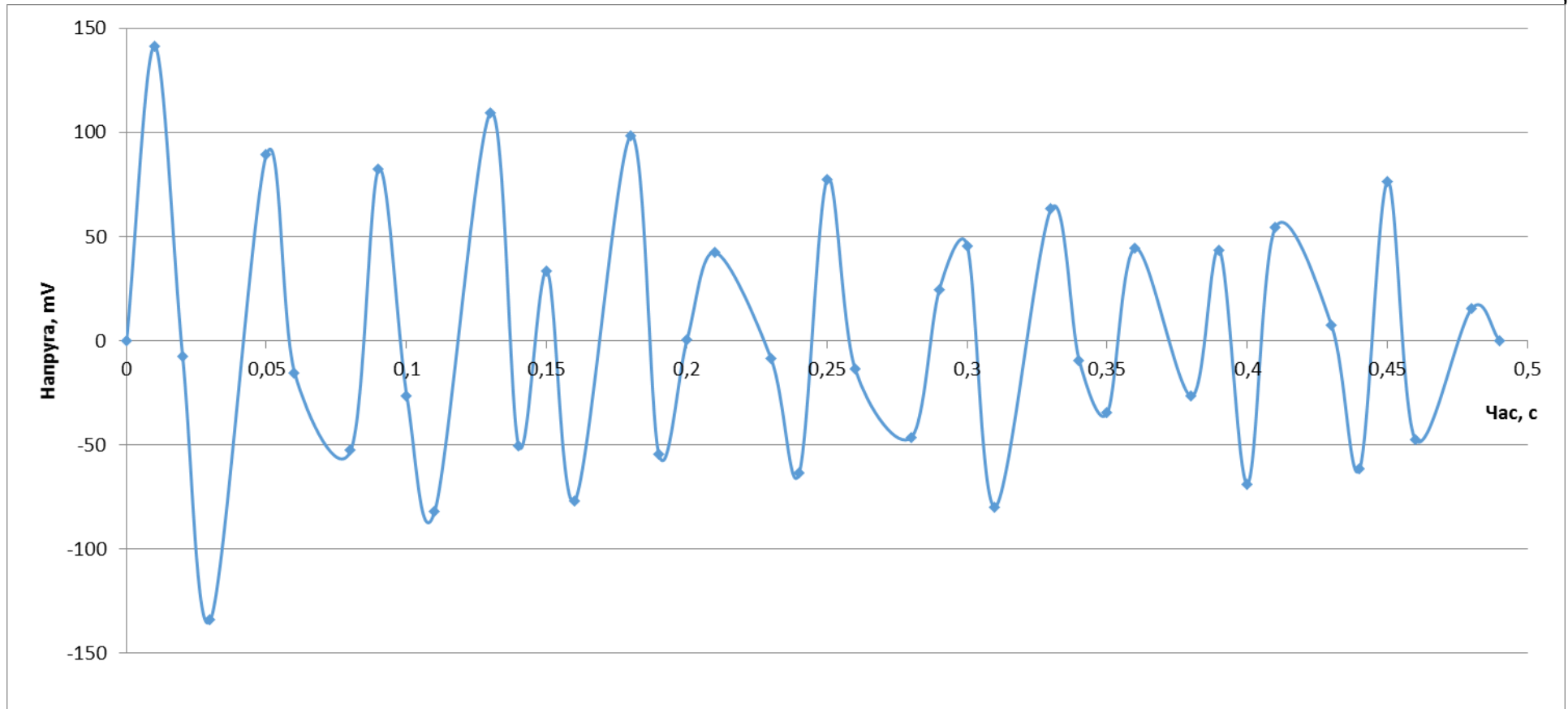


Рисунок 3.27 Оброблений фрагмент осцилограми «signal0133». $\alpha = 30^\circ$. Кількість витків 12

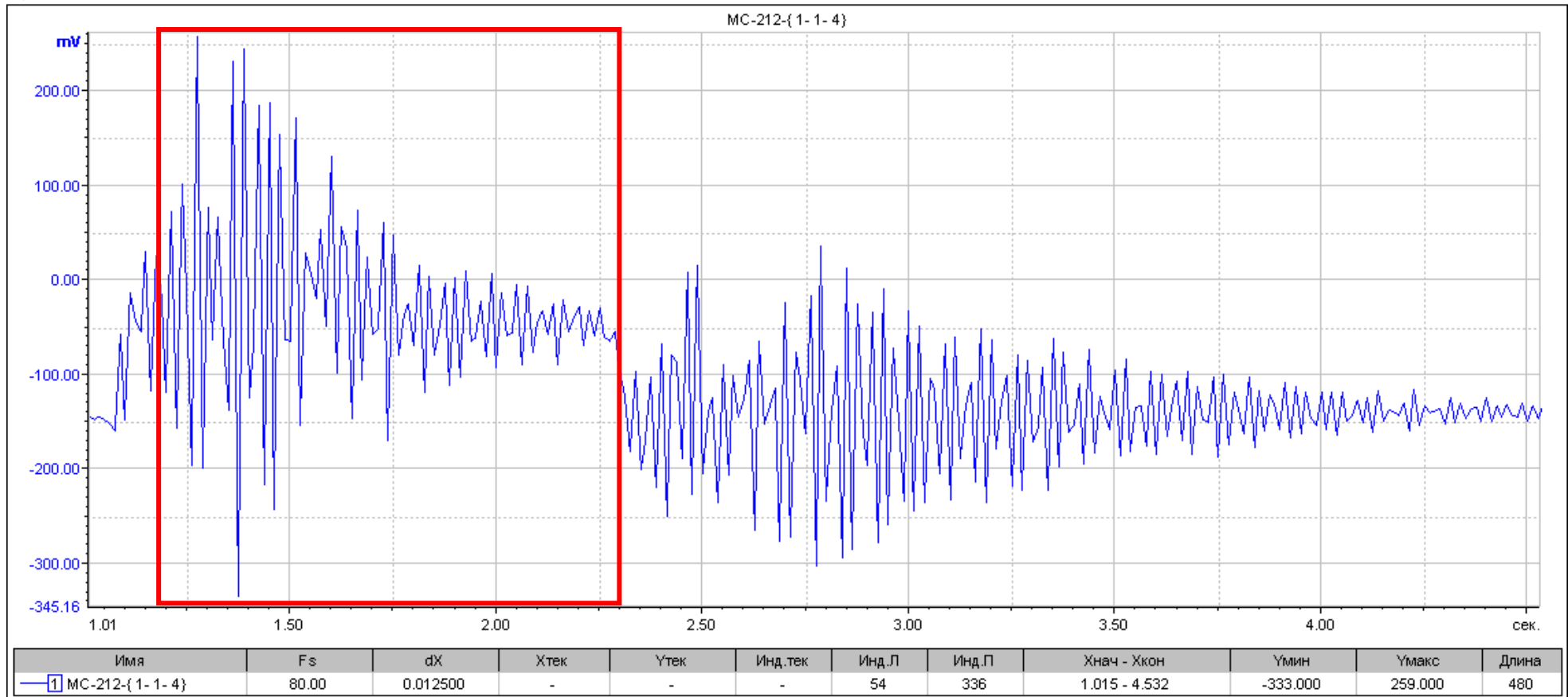


Рисунок 3.28 Осцилограма «signal0139». $\alpha = 30^\circ$. Кількість витків 24.

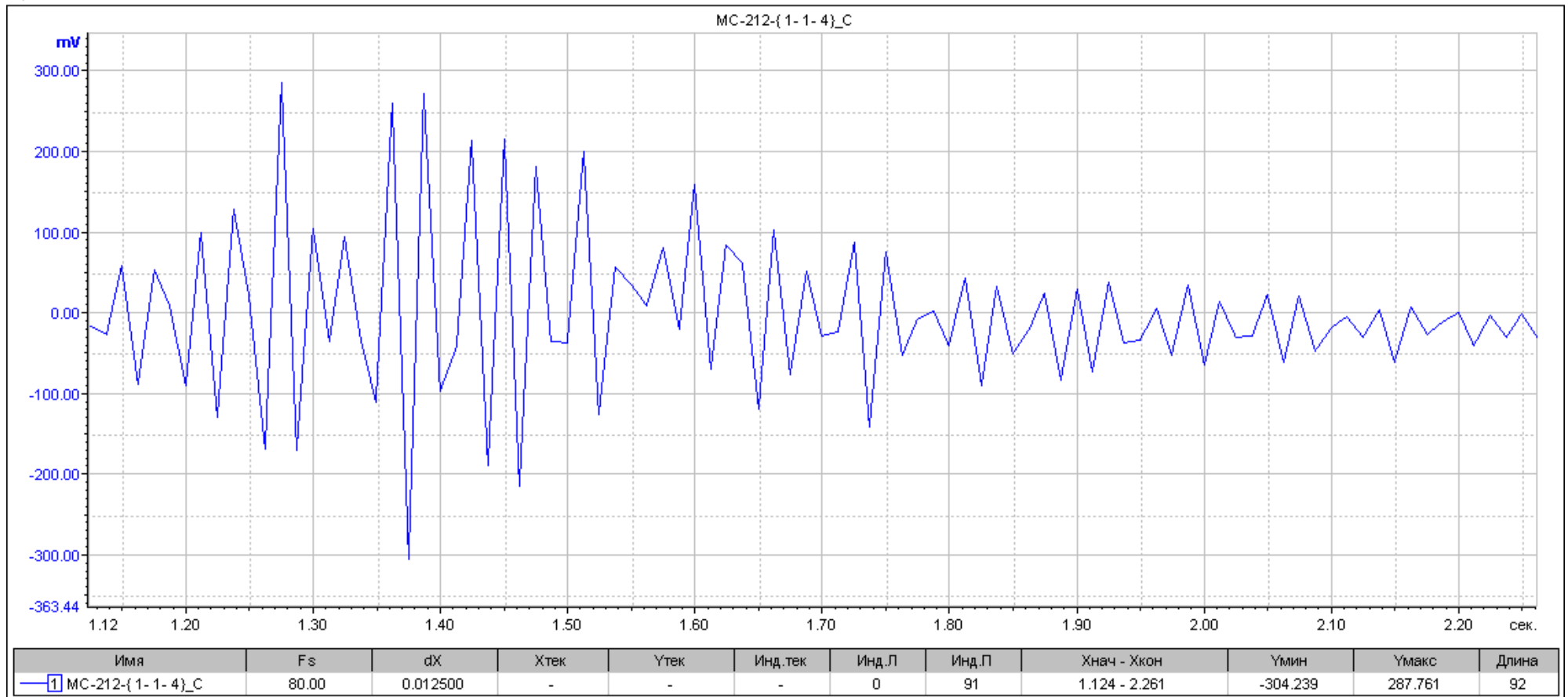


Рисунок 3.29 Збільшений фрагмент осцилограми «signal0139». $\alpha = 30^\circ$. Кількість витків 24.

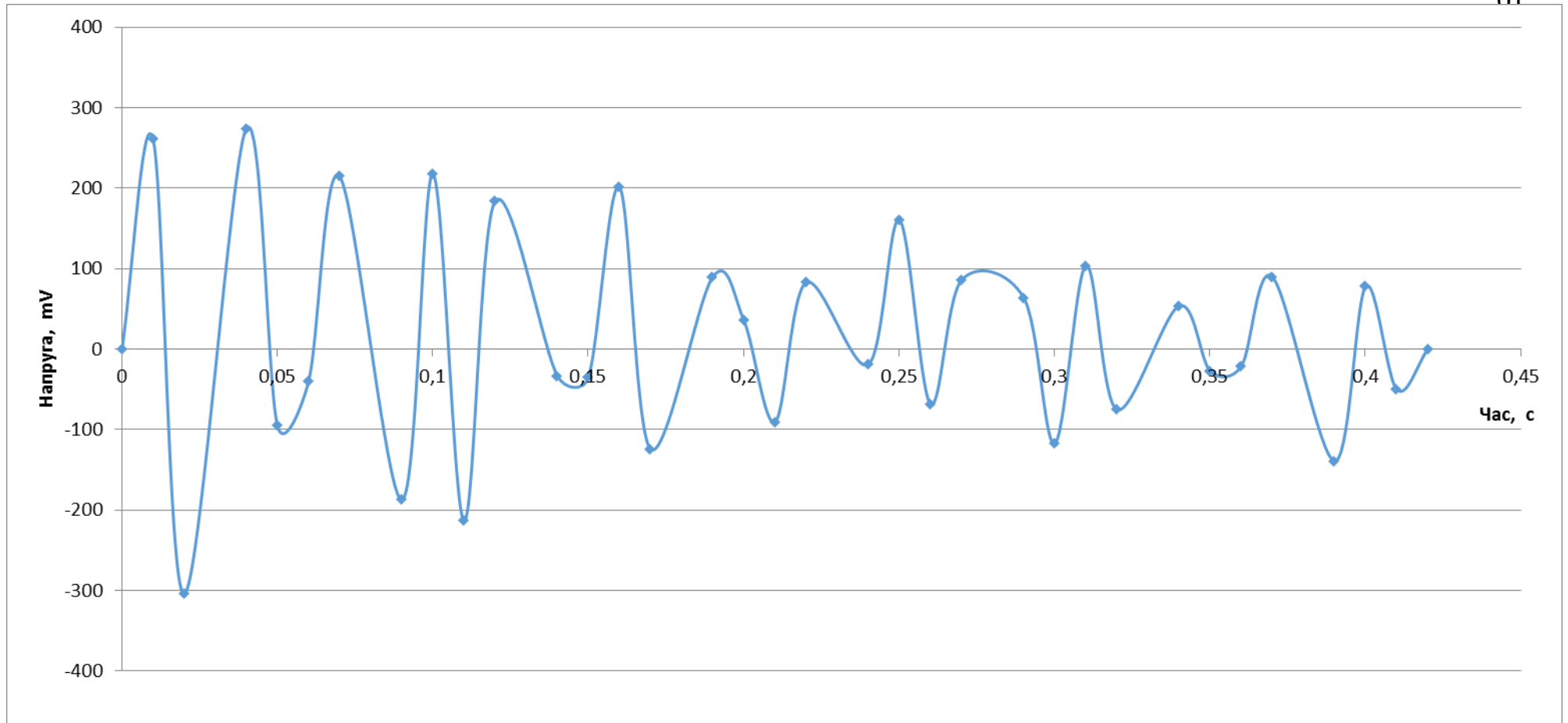


Рисунок 3.30 Оброблений фрагмент осцилограми «signal0139». $\alpha = 30^\circ$. Кількість витків 24.

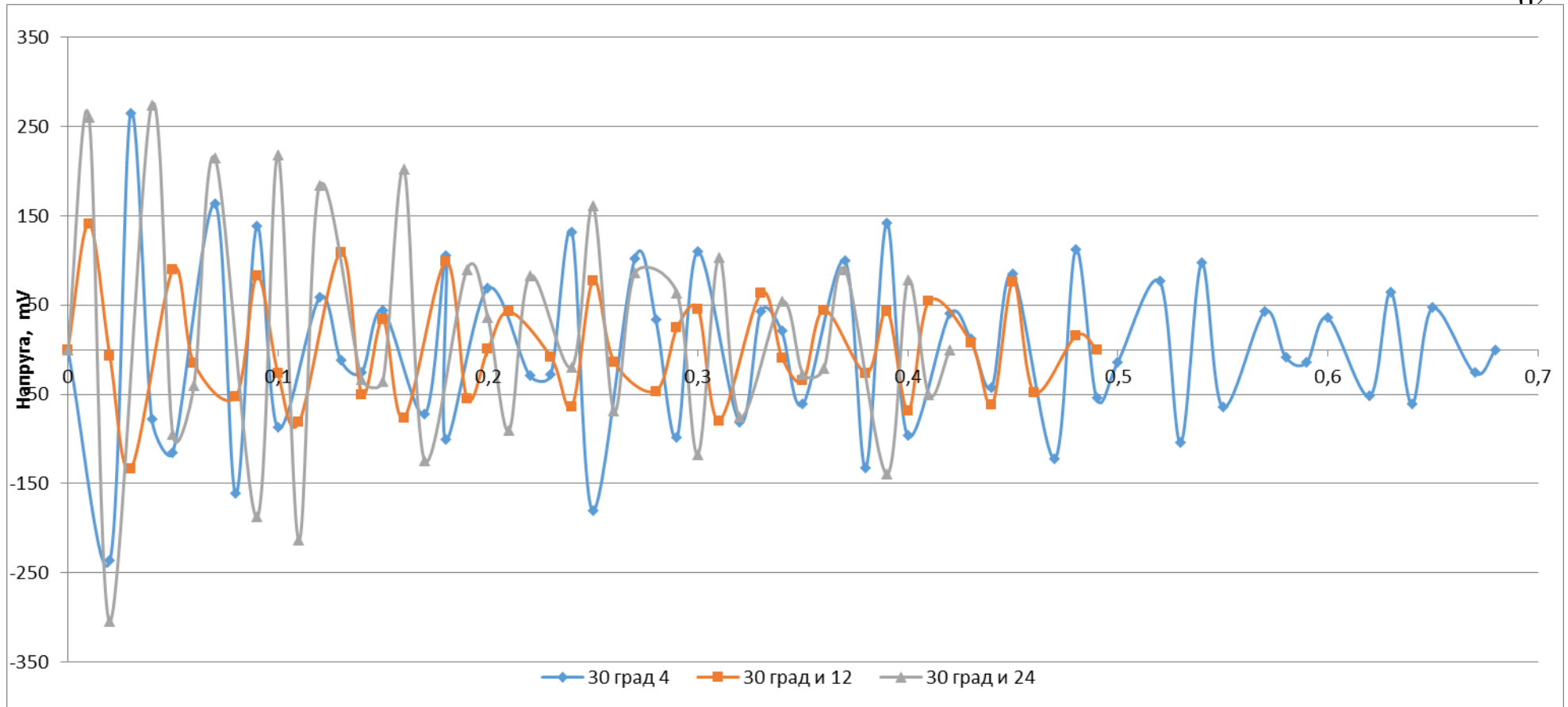


Рисунок 3.31 Порівняння загасань при різному зусиллі підтискання пружини. $\alpha = 30^\circ$.

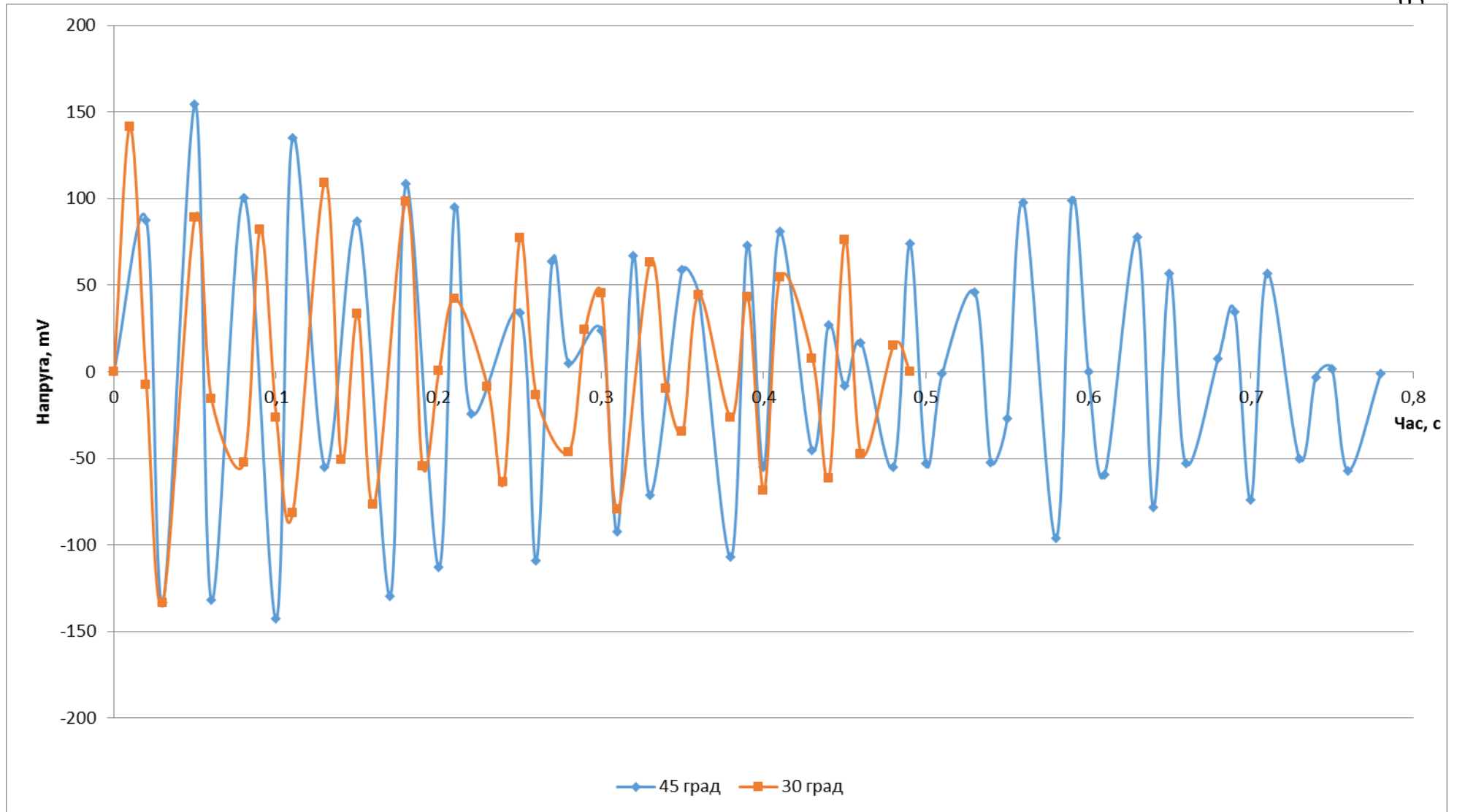


Рисунок 3.32 Порівняння загасань при $\alpha = 45^\circ$ та 30° . Зусилля підтискання 12 витков.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

4.1 Характеристика ступеня безпеки процесу, рівня механізації

Велика кількість небезпек (переміщення вантажів, вантажозахватних пристроїв частини, що обертаються, кидкової машини і т.д.) вимагає особливої уваги й обережності з боку робочого персоналу.

Рівень механізації праці визначається шляхом відношення витрат механізованого праці до ручної праці (для спеціальності “сталевар ”):

$$B = \frac{M}{M + R} \cdot 100\% = \frac{6}{6 + 19} \cdot 100\% = 24\%, \quad (4.1)$$

де B – рівень механізації праці, %;

M – сума людино-годин механізованого праці для сталеварів, кранових машиністів, слюсарів.

R – сума людино-годин ручної праці.

Рівень механізації праці для спеціальності машиніст крана:

$$B = \frac{M}{M + R} \cdot 100\% = \frac{18}{18 + 7} \cdot 100\% = 72\%,$$

Рівень механізації праці для спеціальності слюсар:

$$B = \frac{M}{M + R} \cdot 100\% = \frac{20}{20 + 7} \cdot 100\% = 74\%$$

4.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

У сталеплавильному цеху загалом, і на металургійній ділянці зокрема технологічні операції відбуваються як безупинно, так і періодично. У цих умовах небезпечні й шкідливі виробничі фактори проявляють себе як постійно, так і періодично.

До постійно діючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів ставляться: теплові випромінювання (більш 350 Вт/м^2), інфрачервоне випромінювання, загазованість, електромагнітне випромінювання, вібрації (табл. 4.1). До періодично діючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів ставляться: переміщення вантажів (великої кількості сировини, готової продукції й відходів виробництва), що обертаються частини механізмів і встаткування, що працюють у запиленім середовищі при низьких або високих температурах, підвищене значення напруги в електричних колах. У цих умовах потрібне безумовне забезпечення безпеки виробничого встаткування. Деякі небезпечні й шкідливі фактори можуть переходити з однієї категорії в іншу.

Порушення й екстремальні відхилення (аварії) технологічного процесу й роботи встаткування приводить до прояву випадкових небезпечних і шкідливих факторів. До таких випадкових факторів ставляться: раптовий прорив газопроводу, обривши силових електричних ліній, влучення сторонніх предметів у механізми встаткування й т.п.

У сталеплавильному цеху джерелом загальної вібрації є вібрація підлоги й інших конструктивних елементів будинку внаслідок роботи вантажопідійомних і транспортуючих машин, механізмів електропечі, молотів.

Основним устаткуванням, що генерують електромагнітні поля, є електроустаткування й трансформаторні підстанції.

Основними джерелами небезпеки поразки електричним струмом на металургійній ділянці є: машини й механізми з електроприводом. В основному електроустаткування живиться від заводської мережі 380 В.

Основні теплові випромінювання, що мають місце на металургійній ділянці, так і в цеху виходять від печей і машин для розливання металу. По санітарних нормах проектування промислових підприємств (СН 245-71) величина явних тепловиділень (для гарячих цехів) не повинна перевищувати 140 Вт/м^2 . У нашій випадку, безпосередньо поблизу печей, тепловиділення становлять 850 Вт/м^2 .

Таблиця 4.1- Оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу сталевара

№ п / п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. зн. (ПДК)	Фактичес -Яке знач.	клас.- шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора, %, за зміну
				Іст.	Пст.	Шст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : ІІІ клас небезпеки: окис заліза, мг/м ³ оксид вуглецю мг/м ³	16.4 22,1	101.3 35,01	1,67		7,2	90 100
2	Пил переважно фиброгенної дії, мг/м ³						
3	Вібрація (загальна й локальна), дБ	6	7.5			5,4	78
4	Шум, дБА	70	80	15			88
5	Мікроклімат у приміщенні: -температура повітря, °С -швидкість руху повітря, м/с -інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	26/15 0,3/0,6 150	45 0,5 3200	- - -	- - -	19 - 3200	100 100 90
6	Важкість й напруженість праці	Середня ІІб помірна					

Висновок: У зв'язку з наявністю першого й третього класу небезпеки (Табл.4.1) слюсар має право на пільгову пенсію по першому спискові, додаткова відпустка в розмірі 18 днів, і видачу 0,5 літра молока в зміну.

4.3 Розробка заходів захисту від виявлених небезпечних і шкідливих факторів

Для поліпшень умов праці й захисту працюючих від теплового впливу застосовуємо: теплоізоляцію поверхонь робочих місць (кабіни машиністів мостових кранів, постів керування), природню й механічну вентиляцію, водорозпилення на робочих місцях і в припливних віконних прорізах, спецодяг і індивідуальні захисні засоби (щитки, окуляри, екрани), раціональну організацію режимів праці й відпочинку, пристрій спеціальних кабін і кімнат відпочинку. Для ослаблення впливу теплового випромінювання на організм людини встановлюємо раціональний питний режим – постачання робітників підсоленою газованою водою.

Зменшення запиленій й загазованості проводиться шляхом природньої й штучної вентиляції.

До обертових відкритих частин устаткування, розподільним електричним пристроям, джерелам теплового випромінювання (трубопроводи) – використовуються огорожувальні пристрої, як стаціонарні, так і рухливі.

Для контролю переміщення вантажів застосовуються обмежувальні пристрої тупикового типу. Також обмежувальні пристрої застосовуємо на підступах до джерел тепловипромінювання (печі, ковші, місця випуску металу), залізничні колії, вантажно-розвантажувальні майданчики.

Засобу індивідуального захисту (СИЗІЙ) персоналу електросталеплавильного цеху застосовуються наступних класів: для ремонтних і аварійних робіт – ізолюючі костюми; для виконання технологічних операцій – спецодяг і інший СИЗІЙ, передбачені ДНАоП 0.00-3.01-98.

У якості засобів захисту органів подихи застосовуються респіратори типу ШБ – “Пелюстка” (ДЕРЖСТАНДАРТ 12.4.028-86).

Спеціальне вібраційне взуття ДЕРЖСТАНДАРТ 12.4.03-83 групи Мв – для захисту від механічних впливів і вібрації.

Для захисту працюючих при вантажно-розвантажувальних, монтажних, зварювальних і інших роботах застосовуються будівельні каски ДЕРЖСТАНДАРТ 12.4.087-80.

4.4 Технічні розв'язки по виробничій санітарії.

4.4.1 Мікроклімат

Вентиляція – організований повітрообмін – застосовується для створення номінальних метеорологічних умов, видалення шкідливостей, виділюваних при технологічних операціях. У нашій випадку нормальними метеорологічними умовами для роботи слюсаря є тепла пора року: температура навколишнього середовища 19-25 °C, відносна вологість 75%, швидкість переміщення повітря 0,2 м/с, що відповідає нормам метеорологічних умов відповідно ДСН 3.3.6.042-99.

В електросталеплавильному цеху застосовується механічна й природня вентиляція. Природня вентиляція (аерація) – природній повітрообмін у виробничім приміщенні відбувається під впливом двох факторів: різниці температур, що створює тепловий тиск, і дії вітру, що створює вітровий тиск. Для збільшення тиску, у даху цеху встановлені витяжні шахти й труби, з дефлекторами, що дозволяють збільшити повітрообмін за рахунок вітрового напору. Для вступу повітря в цех передбачені припливні прорізи в нижній зоні стін.

За допомогою механічної вентиляції, установленої в цеху, повітря розподіляється відповідно до заданих умов, чисте повітря подають у певні ділянки цеху, а забруднений видаляють від місць утвору шкідливостей (печі, установка напівбезперервного розливання стали), відводять для очищення.

4.4.2 Штучне й природнє висвітлення

Одним з найважливіших параметрів виробничої обстановки є висвітлення. Достатнє висвітлення на робочих поверхнях забезпечується виконанням нормативних вимог, що встановлюють норми освітленості залежно від характеристики зорової роботи обумовленим ступенем її точності, тобто розміром об'єктів розрізнення. БніП 11-4-79 «Природнє й штучне висвітлення» передбачає нормативи висвітлення для восьми розрядів зорової роботи [20]. У виробничім приміщенні сталеплавильного цеху передбачене природнє висвітлення й штучне висвітлення (світлові ліхтарі).

В електросталеплавильному цеху робоче місце сталевара висвітлюється штучним висвітленням шляхом застосування світильника ПВЛП із лампою ДРЛ потужністю 500 Вт, світловою віддачею 11600 лм/Вт і тривалістю горіння 1000-4000 годин.

Роботу оператора відносимо до роботи середньої точності IV розряду. З таблиці 4 [19] освітленість згідно Сніп 11-4-79 становить: загальна при штучнім висвітленні 200 Лк, при природньому бічним висвітленні 1,5%, що відповідає обраній лампі.

Приміщення з постійним перебуванням у них людей (працюючих) таких як: кімнати відпочинку, пульти керування електропечками, побутові приміщення і т.д., мають як природнє, так і штучне висвітлення. У цеху використовуються люмінесцентні лампи типу ДРЛ і світильники типу “Айстра”.

4.5 Заходу протипожежної безпеки

У роботі з попередження пожеж головним напрямком є пожежна профілактика – система державних і суспільних заходів, проведених з метою попередження пожеж, обмежень поширення пожеж, створення умов для евакуації людей з палаючого будинку й швидкого гасіння пожежі.

Важливий параметр будинків і споруджень є ступінь їх вогнестійкості. По ДБН 1.1.-7.2002 визначаємо, що електросталеплавильний цех ставиться до

другого ступеня вогнестійкості. Мінімальні межі вогнестійкості наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Мінімальні межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій (у годиннику) залежно від ступеня вогнестійкості (ДСТУ2272-93)

Ступінь вогнестійкості	Основні будівельні конструкції				
	Несучі стіни, стіни сходових кліток, колони	Сходові майданчики, балки й марші	Зовнішні стіни з навісних панелей	Внутрішні стінки, перегородки	Плити, настили й інші несучі конструкції перекриттів
Мінімальні межі вогнестійкості					
II	2,0	1,0	0,25	0,25	0,75

Для попередження поширення пожежі, конструкції будинку постачені протипожежними перешкодами – поперечними й поздовжніми.

Для евакуації людей з будинку й приміщень цехи передбачені евакуаційні виходи. Тому що ворота, призначені для руху транспорту, не можуть бути евакуаційними виходами, передбачаємо спеціальні додаткові евакуаційні виходи.

Електросталеплавильний цех №2 ставиться до пожежонебезпечній категорії “Г”, пов'язані з обробкою неспалених речовин і матеріалів у гарячій, розпеченій або розплавленому стані, що й супроводжуються виділеннями променистого тепла, систематичним виділенням іскор і полум'я, а так само виробництва, пов'язані із систематичним спалюванням твердого, газоподібного й рідкого палива.

Забір води для гасіння пожежі проводиться з пожежних гідрантів, розташованих по периметру цеху. Тиск 0,6 МПа створюється пожежними насосами, що запускаються не пізніше, чим через 5 хвилин після виникнення пожежі.

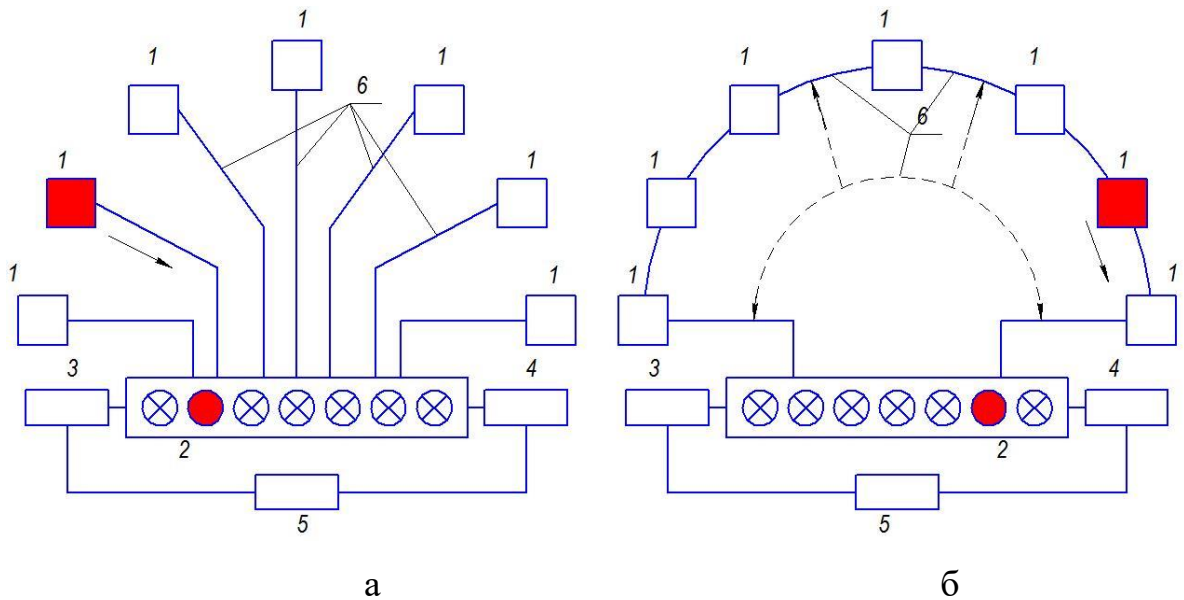
Використовувані насоси дозволяють створювати необхідний тиск у системі пожежогасіння й розраховані на витрату води відповідно до норм витрати води для внутрішнього пожежогасіння – 20 л/м² і зовнішнього – 30 л/м².

До індивідуальних засобів гасіння пожежі ставляться ручні пінні вогнегасники ОХП – 10, ОВП – 10 – для гасіння твердих горючих матеріалів, ОУ – 2, ОУ – 5, ОУ – 8, ОУ – 25, ОУ – 25, ОУ – 80- (вогнегасник вуглекислотний) – для гасіння електроапаратури.

4.6 Пожежна сигналізація , оповіщення та зв'язок

Швидке виявлення та сигналізація про виникнення пожежі, своєчасний виклик пожежних підрозділів та оповіщення про пожежу людей, що перебувають у зоні можливої небезпеки, дозволяє швидко локалізувати осередки пожежі, провести евакуацію та необхідні заходи щодо гасіння пожежі. Для передачі повідомлення про пожежу в будь-який час доби можуть використовуватись телефони спеціального та загального призначення, радіозв'язок, централізовані установки пожежної сигналізації. Системи оповіщення про пожежу повинні забезпечувати у відповідності з розробленими планами евакуації передачу сигналів оповіщення одночасно по всьому будинку (споруді). Кількість оповіщувачів (динаміків), їх розміщення та потужність вибирається таким чином щоб забезпечити необхідну чутність у всіх місцях перебування людей. Приміщення, з якого здійснюється керування системою пожежного оповіщення, належить розміщувати на нижніх поверхах будівель, біля входу на сходові клітки, у місцях з цілодобовим перебуванням чергового персоналу.

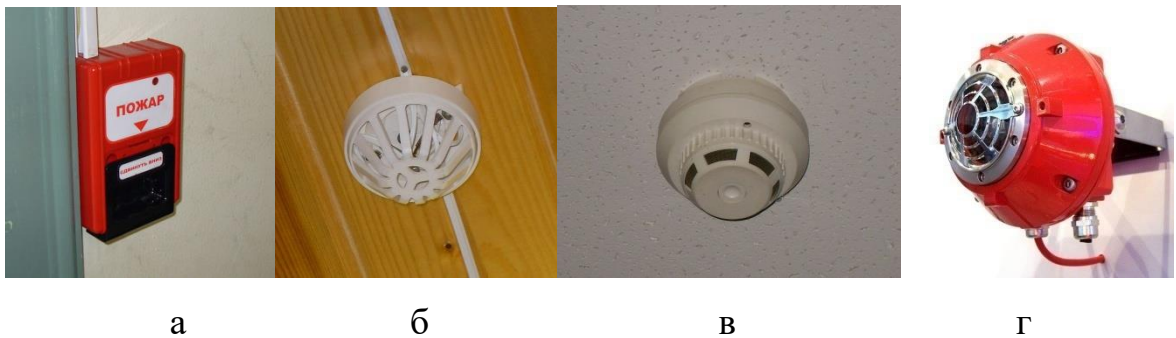
Найбільш швидким та надійним засобом виявлення та сповіщення про пожежу вважається автоматична станова пожежної сигналізації (АУПС), яка повинна працювати цілодобово. Залежно від схеми з'єднання розрізняють променеві (радіальні) та кільцеві АУПС. Принципи роботи АУПС полягає в наступному: при спрацюванні хоча б одного із сповіщувачів на приймально-контрольний прилад знаходить сигнал «Пожежа».



1-сповіщувачи; 2-приймально-контрольний прилад; 3-блок живлення від електромережі; 4-блок аварійного живлення; 5- система перемикання з одного живлення на інше; 6 – з'єднувальні проводи.

Рис.4.1 Схеми променевого (а) та кільцевого (б) з'єднання в АУПС:

Одним з основних елементів АУПС є пожежні сповіщувачі – пристрої, що формують сигнал про пожежу. Розрізняють пожежні сповіщувачі ручної та автоматичної дії. Ручний сповіщувач вмикає людина, що виявила пожежу, шляхом натискання на пускову кнопку. Автоматичні пожежні сповіщувачі спрацьовують без участі людини від дії на них чинників, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я.



а- ручний; б – тепловий; в-димовий; г – полум'я

Рис. 4.2 Пожежні сповіщувачі:

Теплові пожежні сповіщувачі за принципом дії підрозділяються на: максимальні, які спрацьовують при досягненні порогового значення температури повітря в місці їх встановлення; диференційні які реагують на швидкість наростання градієнта температури; максимально диференційні, які спрацьовують від тої чи переважаючої зміни температури.

Сповіщувач пожежний ИП-105 являє собою магнітоконтатний пристрій з контактним виходом. Він працює за принципом зміни магнітної індукції під дією високої температури. При підвищенні температури повітря магнітне поле зменшується і при досягненні порогового значення температури контакт, який знаходиться в герметичній камері, розмикається. При цьому подається сигнал «Пожежа» на приймально-контрольний прилад.

Димові пожежні сповіщувачі виявляють дим фотоелектричним (оптичним) чи радіоізотопним методом. Принцип дії оптичного сповіщувача пожежного димового ИПД-1 базується на реєстрації розсіяного світла. Випромінювач і приймач, що працюють в інфрачервоному світлі, розташовані в оптичній камері таким чином, що промені від випромінювача не можуть потрапити безпосередньо на приймач. У випадку пожежі дим потрапляє в оптичну камеру сповіщувача. Світло від випромінювача розсіюється часточками диму і потрапляє в приймач. Внаслідок цього формується сигнал «Пожежа» і подається на приймально-контрольний прилад. В радіоізотопному сповіщувачі диму чутливим елементом слугує іонізаційна камера з джерелом α – випромінювання. Дим, який утворюється при пожежі, знижує ступінь іонізації в камері, що й реєструється сповіщувачем.

Пожежні сповіщувачі полум'я дозволяють швидко виявити джерело відкритого полум'я. Чутливий фотоелемент сповіщувача реєструє випромінювання полум'я в ультрафіолетовій чи інфрачервоній частинах спектра.

Пожежні сповіщувачі характеризуються: порогом спрацювання – найменшим значенням параметра, на який вони реагують; інерційністю – часом від початку дії чинника, що контролюється до моменту спрацювання;

захищеною площею – площею підлоги, яку контролює один сповіщувач. В таблиці 4.3 наведені порівняльні характеристики сповіщувачів різних типів.

Таблиця 4.3 – Порівняльна характеристика сповіщувачів різних типів.

Показник сповіщувача	Вид сповіщувача		
	теплові	димові	полум'я
Інерційність, с	60-120	5-25	0,1
Захищувальна площа, м ²	15-30	55-85	80-120

4.7 Розрахунки ємності бака з розчином піноутворювача

Визначимо ємність бака з розчином піноутворювача для гасіння маслорасосного підвалу. Площа приміщення $S = 54 \text{ м}^2$ висота $h = 3 \text{ м}$. Інтенсивність зрошення водою $q = 0,45 \text{ л}/(\text{з} \cdot \text{м}^2)$ час - роботи установки $t = 60$ хв;

Гасіння здійснюється спринклерними або дрен чорним і зрошувачами, для таких зрошувачів $H_{\min} = 5 \text{ м}$; $H_{\max} = 100 \text{ м}$. H - вільний напір перед зрошувачем (генератором).

Спринклерний зрошувач - (спринклер - розбризкувач) зрошувальна головка встановлювана на трубопроводах систем водного й пінного пожежогасіння. Постачені тепловим замком - клапаном, закритим легкоплавким припоєм. Автоматично спрацьовує при підвищенні температури.

Максимальна відстань між зрошувачами $L_{\max} = 2 \text{ м}$

Ухвалюємо величину напору перед зрошувачами $H = 10 \text{ м}$.

Визначаємо об'єм бака Q_0 :

$$Q_0 = S \cdot q \cdot t = 54 \text{ м}^2 \cdot 0,45 \frac{\text{л}}{\text{с}} \cdot \text{м}^2 \cdot 3000 \text{ с} = 72900 \text{ л}$$

$$Q_0 = 72,9 \text{ м}^3$$

Визначаємо витрата води Q_a через один зрошувач:

$$Q_{\alpha} = k\sqrt{H} \text{ л/с, де}$$

k – коефіцієнт продуктивності зрошувача

Вибираємо з таблиці:

Діаметр вихідного отвору зрошувача, мм	Значення коефіцієнта k
8	0,20
10	0,31
12	0,42
15	0,71
20	1,25

Для пожежогасіння вибираємо зрошувачі з діаметром вихідного отвору 10 мм. Тоді Q_{α} буде рівно:

$$Q_{\alpha} = 0,31 \cdot \sqrt{10} = 0,98 \text{ л/с,}$$

а годинна витрата води через один зрошувач складе:

$$Q_{\alpha 2} = 0,98 \cdot 3600 = 3500 \text{ л/ч або } 3,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Визначаємо кількість зрошувачів η :

$$\eta = \frac{Q_{\sigma}}{Q_{dr}} = \frac{72,9 \text{ м}^3}{3,5 \text{ м}^3} = 21 \text{ шт.}$$

Розподіляємо зрошувачі по площі масло насосної станції під стелею.

Втрати напору H_1 , на ділянці транспортуючих воду трубопроводів:

$$H_1 = \frac{Q^2}{B}$$

де Q – витрата пни на розрахунковій ділянці трубопроводу л/с

B – характеристика трубопроводу, визначається по формулі:

$$B = \frac{k_1}{l}$$

де k_1 - коефіцієнт, прийнятий по таблиці 3

l - довжина ділянки трубопроводу, м

Для наших умов : $Q = \frac{Q_0}{3600} = \frac{72900}{3600} = 20,25$ л/с

Для транспортування піни ухвалюємо сталеву електрозварну трубу з діаметром умовного проходу 125 мм і товщиною стінки 3,2 мм.

Для такої труби коефіцієнт $k_1 = 13500$

Ухвалюємо довжину трубопроводу $l = 54$ м

$$B = \frac{13530}{54} = 250,5$$

$$H_1 = \frac{(20,25)^2}{250,5} = 1,85 \text{ м}$$

Необхідний напір води на установці пожежогасіння H' (м) буде рівний:

$$H' = H + H_1 + H_2$$

H_2 –втрати напору на вузлах керування

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з технологією й устаткуванням електросталеплавильного цеху СПЦ-2, ПАТ «Днепрспецсталь» є велика витрата електродів при плавці ДСП-50.
2. На підставі наведеного огляду й аналізу технічної й патентної літератури встановлено, що до суттєвої втрати електродів призводять механічні коливання електродотримачів у горизонтальній площині.
3. При застосуванні системи балансируного електродотримача з демпфером сухого тертя можливе досягнення наступних цілей – зменшення поломок електродів та їх передачі в електродний брукт, зменшення простоїв печі.
4. Проведено розрахунки на міцність найбільш навантажених деталей і вузлів електродотримачів ДСП-50, які вказують на високу працездатність і надійність машини.
5. За результатами виконання дослідницької частини побудовані залежності загасання амплітуд в часі при різних кутах клинів ($\alpha=45^\circ$, 30°) і різних зусиллях підтискання пружин.
6. Аналіз результатів показав, що кут клинів $\alpha=45^\circ$ непридатний для вирішення поставленого завдання, тому що час загасання збільшується в 1,6 рази в порівнянні з кутом $\alpha=30^\circ$.
7. Результати роботи можуть бути використані на ПАТ «Дніпрспецсталь», та на інших підприємствах, які спеціалізуються на електрометалургії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Механическое оборудование металлургических заводов. Механическое оборудование конвертерных и мартеновских цехов: Учебник / [В. М. Гребеник, Ф. К. Иванченко, Б. А. Павленко та ін.]. – К.: Выща шк., 1990. – 288 с.
2. Якушев А. М. Проектирование сталеплавильных и доменных цехов. / А. М. Якушев. – М.: Металлургия, 1984. – 216 с.
3. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т.2 Машины и агрегаты сталеплавильных цехов. Учебник для вузов / Целиков А. И., Полухин П. И., Гребеник В. М. и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1988. 432 с.
4. Арист Л. М. Средства комплексной механизации в металлургическом производстве / Л. М. Арист, А. Н. Городецкий, О. А. Симонов. – К.: Техніка, 1981. – 208 с.
5. Арист Л. М. Механизация работ в черной металлургии. Механизация работ в сталеплавильном производстве. / Л. М. Арист, В. М. Гребеник, А. Н. Городецкий. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989. – 287 с.
6. Сапко А. И. Механическое оборудование цехов спецэлектрометаллургии / А. И. Сапко. – М.: Металлургия, 1983. – 200 с.
7. ПАТ «Дніпроспецсталь», виробництво та виробничі потужності, <http://www.dss-ua.com/rus/company/production/schema/>
8. Механическое оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов / [В. М. Гребеник, А. И. Сапко, Л. А. Демьянец та ін.]. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980. – 256 с.
9. Сапко А. И. Механическое и подъемно-транспортное оборудование электрометаллургических цехов / А. И. Сапко. – М.: Металлургия, 1986. – 328 с.
10. Власов Н. Н. Разливка черных металлов / Н. Н. Власов, В. В. Корроль, В. С. Радя. – М.: Металлургия, 1987. – 272 с.

11. Кузьмин А. В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин / А. В. Кузьмин, Ф. Л. Марон. – Минск: Высшая школа, 1983. – 350 с.
12. Иванченко Ф. К. Расчёты грузоподъемных и транспортирующих машин / Ф. К. Иванченко. – Киев: Вища школа, 1978. – 576 с.
13. Артюх В. Г. Нагрузки и перегрузки в металлургических машинах / В. Г. Артюх. – Мариуполь: ПГТУ, 2008. – 246 с.
14. Артюх В. Г. Основы защиты металлургических машин от поломок / В. Г. Артюх. – Мариуполь: Издат. группа «Университет», 2015. – 288 с.
15. Каримов И. Детали машин [Электронный ресурс] / Ильдар Каримов – Режим доступа до ресурсу: <http://www.detalmach.ru/lect11.htm>.
16. Артюх В. Г. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН ОТ ПОЛОМОК / В. Г. Артюх. // Обработка материалов давлением. – 2010. – №2. – С. 221–226.
17. Орловский И. А. Уточненные математическая и имитационная модели электропривода перемещения мостового крана / И. А. Орловский, Ю. С. Бут. // Электротехника та електроенергетика. – 2007. – №2. – С. 39–51.
18. Лобов Н. А. Динамика грузоподъемных кранов. / Н. А. Лобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
19. Макурин А. В. Динамика продольного перемещения мостового крана с учетом упругости элементов конструкции [Электронный ресурс] / А. В. Макурин, Д. И. Морозов. – 2011. – Режим доступа до ресурсу: <http://masters.donntu.org/2016/etf/volobuev/library/article4.htm>.
20. Осипова Т. Н. Динамика подъемной установки с учетом веса и вязкости канатов / Т. Н. Осипова. // Машинобудування. – 2017. – №20. – С. 62–66.
21. Гончаров К. А. Особенности динамического анализа механизма передвижения подвесной грузовой тележки мостового крана с линейным приводом / К. А. Гончаров, И. А. Денисов, Е. И. Ильин. // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – №3. – С. 115–122.

22. Кружков В. А. *Металлургические подъемно-транспортные машины* / В. А. Кружков. – М.: *Металлургия*, 1989. – 464 с.
23. Геврик Е. О. *Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.* / Е. О. Геврик. – К: *Ельга, Ніка-центр*, 2003. – 280 с..
24. Ткачук К. Н. *Охорона праці та промислова безпека. Навч. посіб.* / К. Н. Ткачук. та ін. – К: *Основа*, 2009. – 360 с.
25. Раздорожный А. А. *Охрана труда и производственная безопасность.* / А. А. Раздорожный. – М.: *Экзамен*, 2007.
26. Румянцев В. Р. *Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» у дипломних роботах (проектах) для студентів ЗДІА спеціальностей МЧМ, МБ та інші* / В. Р. Румянцев, І. О. Ткаліч. – Запоріжжя: *ЗДІА*, 2012. – 16 с.
27. Буканова М.В. *Анализ существующих механизмов перемещения электродов дуговых сталеплавильных электропечей* / М. В. Буканова, А. Я. Жук // *Металургія: зб. наук. праць Запорізької державної металургійної академії.* – Запоріжжя: *РВВ ЗДІА*, 2009. – Вып. 19. – С. 119-124.
28. Пятак Р.Н. *Исследование статических характеристик реечных механизмов перемещения электродов с гидромеханическим приводом дроссельного управления* / Р.Н. Пятак, А.Я. Жук // *Металургія: зб. наук. праць Запорізької державної металургійної академії.* - Запоріжжя: *РВВ ЗДІА*, 2012. - Вып. 27. - С.143-154.
29. Butcher B. *Single Charge EAF Modification: Installation and Experience* / В. Butcher, В. Laroy, К. Vanover et al. // *Iron and Steel Technology.* - 2011. - Vol.8. - Issue 2, - pp. 42-48.
30. Грезина А.В. *Математическое моделирование динамики системы электрододержателей дуговых сталеплавильных печей* / А.В. Грезина // *Проблемы естественных наук. Вестник СГТУ.* - Саратов, 2004. - №4(6). - С.5-10.
31. Авторское свидетельство № 902328 (СССР). Н05В7/10. *Опорный узел системы электрододержателей дуговой электропечи* / А.И Сапко, Н.В.

- Коваль, В.М. Чернобай и др. - номер заявки: 2899694/24-07; заявл.: 26.03.80; опубл.: 30.01.82. - Бюл. №4.
32. Авторское свидетельство № 1102059 (СССР). H05B7/10. Опорный узел электрододержателя дуговой сталеплавильной печи / Н.В. Коваль, А.И. Сапко, Н.В. Шматченко и др. - номер заявки: 343759/24-07; заявл.: 17.05.82; опубл.: 07.07.84. - Бюл. №25.
33. Авторское свидетельство № 1274161 (СССР). H05B7/10. Механизм перемещения электродов дуговой электропечи / А.И. Сапко, Н.В. Коваль, С.А. Уваров и др. - номер заявки: 3771338/24-07; заявл.: 27.04.84; опубл.: 30.11.86. - Бюл. №44.
34. Лозинський О.Ю. Математична модель механізму переміщення електродів дугової сталеплавильної печі / О.Ю. Лозинський, Я.Ю. Марущак, А.П. Кушнір // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. - Львів: Видавництво ДУ «Львівська політехніка», 2004. - Вип. 38.- С.45-52.
35. Кушнір А.П. Синтез двомасових електромеханічних систем переміщення електродів дугових сталеплавильних печей: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» / А.П. Кушнір. - Львів, 2005. - 21 с.
36. Авторское свидетельство № 1270910 (СССР). H05B7/10. Электрододержатель дуговой печи / Е.В. Годецкий. - номер заявки: 3712405/24-07; заявл.: 22.03.84; опубл.: 15.11.86. - Бюл. №42.
37. Авторское свидетельство № 1184112 (СССР). H05B7/10. Электрододержатель дуговой электропечи / Н.В. Коваль, А.И. Сапко, Ю.Е. Зырянов и др. - номер заявки: 3761292/24-07; заявл.: 26.04.84; опубл.: 07.10.85. - Бюл. №37.
38. Авторское свидетельство № 1346884 (СССР). F16F15/02, H05B7/10. Инерционная масса для гашения колебаний / Н.В. Коваль, А.И. Сапко, Н.В. Шматченко и др. - номер заявки: 4036291/24-07; заявл.: 24.12.85; опубл.: 23.10.87. - Бюл. №39.

39. Авторское свидетельство № 1725406 (СССР). Н05В7/10. Электрододержатель дуговой электропечи / В.К. Тарасов, О.Л. Резников, С.Ю. Беляев, и др. - номер заявки: 4779287/07; заявл.: 09.01.90; опубл.: 07.04.92. - Бюл. №13.
40. Авторское свидетельство № 1758915 (СССР). Н05В7/10. Электрододержатель дуговой электропечи / В.К. Тарасов, О.Л. Резников, И.А. Лапиков. - номер заявки: 4939042/07; заявл.: 22.05.91; опубл.: 30.08.92. - Бюл. №32.
41. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории упругих колебаний / Я.Г. Пановко. - М.: Машгиз, 1957. - 336 с.
42. Авторское свидетельство № 1711348 (СССР). Н05В7/10. Устройство для крепления электрододержателя дуговой сталеплавильной печи / С.Ю.Беляев, А.Я. Жук, Н.В. Коваль и др. - номер заявки: 4790609/07; заявл.: 09.02.90; опубл.: 07.02.92. - Бюл. №5.
43. Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие. Под ред. Р.А.Макарова. Москва: Машиностроение, 1975. - 288 с.
44. Комплексы измерительно-вычислительные МІС. Руководство по эксплуатации. БЛИЖ. 401250.001 РЭ [Электронный ресурс]: - Москва: НПП «МЕРА», 2010. - 147 с. режим доступа: <http://nppmera.ru/assets/files/documentation/RE%20MIC-018.pdf>, вільний.
45. Программа управления комплексом МІС Recoder. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]: - Королев: НПП «МЕРА», 2016. - 167 с. режим доступа: <http://nppmera.ru/assets/files/documentation/Recoder%20-%20User%20Guide.pdf>, вільний.
46. WinПОС. Пакет обработки сигналов. Руководство пользователя. БЛИЖ. 409801.002-04 90 [Электронный ресурс]: - Королев: НПП «МЕРА», 2009. - 174 с. режим доступа: <http://nppmera.ru/assets/files/winpos/WPUsersGuide.pdf>, вільний.
47. Патент на винахід №43610А Україна, Н05В7/10. Пристрій для кріплення електродотримача дугової сталеплавильної печі / Власов А.О., Коваль

М.В., Жук А.Я., Лебедева И.В., Беляев С.Ю., Бейник В.В.; заявник і власник Запорізька державна інженерна академія. - № 2001042291; заявл. 06.04.2001; опубл. 17.12.2001, Бюл.№11.

- 48.Тимм К. Электромеханические колебания в системе электрод - держатель электрода дуговой печи, 1985. - С.359-382.
- 49.Грезина А.В. Исследование устойчивости и причин самовозбуждения колебаний объектов машиностроения с распределенными элементами: дисс...канд. техн. наук: 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» / Грезина Александра Викторовна; Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. - Нижний Новгород, 2001. - 129 с.

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Форма т
1	Переріз електросталеплавильного цеху	1	A1
2	ДСП-50	1	A1
3	Механізм переміщення електродів	1	A1
4	Дослідження гасіння механічних коливань електродотримача ДСП-50 при кутах клинів демпфера 45°	1	A1
5	Дослідження гасіння механічних коливань електродотримача ДСП-50 при кутах клинів демпфера 30°	1	A1
6	Фізична модель гасителя коливань	1	A1
7	Вплив кута тертя на амплітуду та час затухання коливань	1	A1
8	Схема спринклерної установки повітряно-пінного гасіння	1	A1

ДОДАТКИ