

АНОТАЦІЇ

І. В. Волошина, В. І. Мороз, В. Б. Цяпа, Л. Ф. Карплюк

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПРИВОДУ ПІДЙМАННЯ ЕКСКАВАТОРА-ДРАГЛАЙНА ЕШ-15/90А

Засобами комп'ютерного моделювання з використанням середовища імітаційного моделювання MATLAB-Simulink проаналізовано динамічні процеси електроприводу підйому экскаватора-драглайна типу ЕШ-15/90 з урахуванням ефекту провисання каната. Показано, що існуючі дослідження динаміки драглайнів використовують лише традиційні лінійні моделі пружної частини канатного приводу экскаватора. Для досліджень використана відомий математичний опис процесів провисання.

Реалізацію математичної моделі ефекту провисання каната приводу підймання экскаватора-драглайна здійснено засобами імітаційного моделювання. Система електроприводу за системою Г-Д і підпорядкованим принципом регулювання з використанням магнітних підсилювачів моделюється достатньо простою структурою, враховуючи традиційні в електромеханіці допущення і поставлені завдання.

Порівняно точність одержаних комп'ютерних моделей тягового приводу экскаватора-драглайна з урахуванням та без урахування нелінійності коефіцієнта пружності каната для режиму підймання до моменту відриву ковша від землі. Для розв'язання цієї задачі запропоновано структурні моделі з використанням бібліотек математичного застосунку MATLAB + Simulink. Результати досліджень проілюстровано графіками.

Показано, що використання нелінійної моделі канатного приводу з врахуванням ефекту провисання каната не дає очікуваного підвищення точності у досліджуваних режимах.

І. Р. Гавдьо

ВПЛИВ СТУПЕНЯ ШУНТУВАННЯ МАГНІТНОГО ПОТОКУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ЕКРАНОВАНИМИ ПОЛЮСАМИ

Досліджено вплив ступеня шунтування магнітного потоку на статичні характеристики асинхронного двигуна з екранованими полюсами. Розглянуто математичну модель двигуна із вставними магнітними шунтами, виконаними у вигляді зігнутої феромагнітної пластини, встановленої між наконечниками полюсів. Ступінь шунтування потоку обмотки збудження визначається відношенням наскрізного магнітного потоку через шунт до повного магнітного потоку у повітряному проміжку під полюсом. В основу математичної моделі двигуна покладено розгалужену заступну схему магнітопроводу, яка дає змогу з високою точністю враховувати локальні насичення різних ділянок магнітопроводу. На основі її розрахунку для заданих миттєвих значень струмів обмоток визначаються значення магнітних потоків (індукцій) в усіх ділянках магнітного кола, потокозчеплення та диференційні індуктивності обмоток. Проведено розрахунки для двополосного двигуна вихідною потужністю 2 Вт. Для заданих товщини шунта та частоти обертання розраховано значення магнітних потоків в окремих ділянках магнітопроводу, ступінь шунтування магнітного потоку, а також струми обмоток, електромагнітний момент, потужність на валу, коефіцієнт корисної дії двигуна. Встановлено, що зі збільшенням частоти обертання двигуна від пуску до неробочого ходу ступінь шунтування зменшується. Наведено статичні характеристики

двигуна, розраховані диференціальним гармонічним методом. Дослідження показали, що ступінь шунтування магнітного потоку визначається переважно, товщиною магнітного шунта, а також істотно залежить від режиму роботи АДЕП. Товщину шунта доцільно вибирати як компроміс між оптимальними значеннями цієї величини для досягнення максимальних моментів та максимального коефіцієнта корисної дії.

В. Г. Гапанович, З. М. Бахор

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РЕГУЛЮВАННЯ СТАТИЧНОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА ДЛЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШАХТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Для покращення показників якості електроенергії в мережі живлення 35 кВ шахтного навантаження, що живиться від шин районної підстанції 330/220/110/35 кВ "Нововолинська" Західної енергосистеми на базі наявної на підстанції батареї статичних конденсаторів (БСК), був встановлений статичний тиристорний компенсатор реактивної потужності (СТК) шляхом додаткового встановлення тиристорно-реакторної групи (ТРГ) серійного тиристорного компенсатора реактивної потужності (ТКРМ) і об'єднаний з пристроєм регулювання під навантаженням (РПН) трансформаторів підстанції в комплексну систему керування режимом роботи системи електропостачання (СЕР) шахтного навантаження. Штатна система регулювання ТКРМ не ефективна під час стабілізації напруги в точці під'єднання СТК. Тому розроблено структурну схему регулятора СТК пропорційної дії і виготовлено дослідний взірець регулятора СТК, який дозволяє з високою точністю стабілізувати напругу на шинах 35 кВ підстанції. Для оцінювання працездатності розробленого регулятора СТК і правильності запропонованої методики визначення його коефіцієнтів неузгодженості за напругою і струмом проведено експериментальні дослідження процесу регулювання СТК під час стабілізації напруги на шинах 6 кВ підстанції "Нововолинська". Вибір точки стабілізації напруги пояснюється тим, що на шинах 6 кВ можливо штучно створювати збурення за напругою перемиканням анцапф РПН трансформатора Т2, тоді як на шинах 35 кВ збурення напруги зумовлені стохастичними збуреннями навантаження, або збуреннями режиму живильної енергосистеми, що не дозволяє експериментально перевірити регулювальні характеристики СТК.

Результати експериментів підтвердили працездатність розробленого регулятора СТК і правильність запропонованої методики визначення його коефіцієнтів неузгодженості за напругою і струмом і показали, що спроектований регулятор СТК може успішно застосовуватися без переналадження для стабілізації напруги на шинах 6 кВ підстанції. В цьому випадку точність підтримання напруги доволі висока і становить 0,49 % уставки регулятора.

Л. Ф. Карплюк, В. І. Мороз, І. Р. Головач, А. Ю. Нищий

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗГОНУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КУЛЬОВОГО МЛИНА

Сучасні частотно-керовані асинхронні електроприводи ТПЧ-АД дають змогу отримати високі показники енергозбереження та керованості технологічними процесами. Значний інтерес має встановлення частотно-керованих електроприводів на кульовий млин – механізм зі змінними у функції кута повороту моментом навантаження та інерції. У роботі досліджено особливості роботи

частотно-керованого асинхронного електроприводу кульового млина та вироблено рекомендації з його впровадження.

Застосування достатньо грубої техніки дозування, неоднорідність використаних матеріалів, прилипання суміші до стінок млина та футерівки спричиняє значний розкид завантаження млина, що призводить до перевищення моменту навантаження запроєктованих значень. Досвід експлуатації показав, що відбуваються аварійні переривання запуску млина при ненормованому завантаженні млина або після тривалого його простою за осідання породи у барабані.

Розроблено модель електромеханічного частотно-керованого електроприводу з векторним керуванням, яка поряд зі змінним у функції кута повороту млина моментом інерції враховує стрибкоподібну зміну навантаження в момент обвалу породи в барабані. Математичний опис періодичної функції зміни навантаження містить періодичну розривну тригонометричну функцію – арктангенс – та враховує скінченну жорсткість механічної передачі. Дослідження показали, що під час розгону підтримується максимальне значення моменту, що забезпечує рух млина при наростанні навантаження, хоч темп наростання швидкості зменшується. Електропривід розвиває момент двигуна, достатній для пуску та прискорення млина. У момент стрибкоподібного зменшення навантаження, яке відповідає обвалу завантаження млина, збільшується кутове прискорення барабана. За час розгону до усталеної швидкості руху таких обвалів відбувається декілька.

Аналіз наведених осцилограм процесів зміни активного струму та швидкості під час розгону реального млина показує, що характер процесів, отриманих математичним моделюванням в режимах рушення млина, практично є адекватним.

Андрій Куцик

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ ПОЧАТКОВОГО ЗБУДЖЕННЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА НА ГІБРИДНІЙ REAL-TIME МОДЕЛІ СИСТЕМИ ГЕНЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Проаналізовано перехідні електромагнітні процеси в системі генерування електроенергії турбогенератором із безщітковою системою збудження в режимі початкового збудження турбогенератора. Дослідження проведено в гібридній системі, що поєднує комп'ютерну модель силової частини з реальним регулятором збудження (технологія hardware-in-the-loop). Для створення математичної моделі силової частини застосовано оригінальний метод середніх напруг на кроці чисельного інтегрування для математичного моделювання електричних кіл. Застосування цього методу дало змогу підвищити числову стійкість та швидкодію розрахунку та забезпечило тривалу безперервну роботу комп'ютерної моделі. Проаналізовано вплив налаштування системи автоматичного регулювання на якісні показники регулювання напруги та струму збудження генератора. Зокрема, за результатами проведених досліджень зроблено висновок, що визначальний вплив на якість перехідних процесів режиму початкового збудження турбогенератора має жорсткий зворотний зв'язок за напругою збудження, відсутність якого спричиняє коливання напруги генератора під час її наростання в діапазоні близько 20 %, а також значні коливання проміжних координат, зокрема напруги та струму збудження збудника. На якість регулювання напруги та струму збудження впливає також гнучкий зворотний зв'язок за струмом збудження генератора, відсутність якого збільшує динамічні похибки регулювання напруги та струму збудження генератора, а також напруги та струму збудження збудника. Описана в статті технологія гібридного моделювання із застосуванням цифрових моделей реального часу у поєднанні з фізичними об'єктами дозволяє проводити діагностування та налаштування реальних систем керування за відсутності об'єктів керування. З використанням цієї технології та розробленої real-time моделі проводиться тестування автоматичних регуляторів збудження турбогенераторів електростанцій, а також здійснюється їх початкове налагодження перед введенням в роботу.

МОДЕЛЮВАННЯ ВИМИКАЧА НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕСИЛАННЯ ЕНЕРГІЇ

У роботі здійснено аналіз наукових публікацій та доступних програмних комплексів, який показав, що в більшості випадків дослідження комутаційних перехідних процесів в електротехнічних системах пересилання електроенергії проводять без урахування впливу на них електро-механічних процесів під час роботи механізмів переміщення контактів вимикачів, незважаючи на те, що швидкість їх перебігу співвимірна із швидкістю протікання електромагнітних процесів. Обґрунтовано науково-практичну потребу побудови ефективних, достатньо адекватних та відносно простих моделей комутаційних апаратів для дослідження комутаційних процесів в електротехнічних системах пересилання електроенергії. На основі узагальненого міждисциплінарного (інтердисциплінарного) методу математичного моделювання, який ґрунтується на модифікації інтегрального варіаційного принципу Гамільтона–Остроградського, запропоновано математичну модель вимикача надвисокої напруги, основний акцент у якій зроблено на моделюванні роботи механізму переміщення його контактів. Ця модель дає можливість враховувати динаміку роботи механізму переміщення контактів і, в першому наближенні, горіння дуги між ними. Це уможливує дослідження реальних перехідних процесів у лінії без надскладної процедури пошуку початкових умов комутації. Це має особливе практичне значення під час дослідження процесів в електротехнічних системах з декількома вимикачами.

Окрім того, у статті наведено результати верифікації моделі механізму переміщення контактів вимикача та комп'ютерної симуляції усталених режимів і перехідних процесів як під час виникнення коротких замикань в електротехнічній системі пересилання електроенергії, так і під час їх вимкнення вимикачем, що повністю підтвердило коректність та адекватність проведених в статті досліджень.

Підтверджено, що розвиток міждисциплінарних методів дослідження дає можливість за єдиним енергетичним підходом будувати ефективні та адекватні математичні моделі динамічних систем різної фізичної природи (у нашому випадку електротехніки та прикладної механіки), що істотно розширює дослідницькі можливості евентуального користувача.

Я. Марущак, Б. Копчак, Л. Каша

РОБАСТНА СТІЙКІСТЬ ДРОБОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

У системах керування різними об'єктами і зокрема в електромеханічних системах (ЕМС) виникають задачі, пов'язані з їх робастністю. Застосування регуляторів нецілого порядку для об'єктів керування цілого порядку забезпечує кращу гнучкість у налагодженні порівняно з регуляторами цілого порядку. Ця гнучкість робить керування дробового порядку потужним інструментом в проектуванні робастних систем керування з меншою кількістю параметрів налагодження, але виникають проблеми частотних впливів. Для більшості ЕМС характерною є параметрична невизначеність і тому проблему стійкості системи можна звести до її робастної стійкості, аналізуючи відповідний характеристичний поліном.

Позитивним результатом попередніх досліджень є підтвердження інформативності параметра $|f_{wi}|$ щодо знаходження ЕМС у зоні стійкої/нестійкої роботи. За його використання в статті описано розроблення інженерної методики побудови ЕМС, у якій забезпечується бажаний запас стійкості, тобто реалізується робастне керування.

Проведені дослідження щодо робастної стійкості перевірено моделюванням перехідних процесів досліджуваних ПФ дробового порядку. Підтверджено результати, отримані за використання комплексної w_R -площини поверхні Рімана. Все це дозволяє стверджувати, що параметр $|f_{wi}|$ є інформативним щодо знаходження ЕМС у зоні стійкої/нестійкої роботи або на межі цих зон, і за наближенням даного параметра до однієї з цих зон можна прогнозувати характер перехідного процесу ЕМС, які описуються як дробовими, так і цілочисельними ПФ. Проте використання такого підходу для оперативного аналізу робастної стійкості ЕМС ускладнюється трудоємністю процедури розрахунку коренів поліномів на комплексній w_R -площині ріманової поверхні, що негативно впливає на оперативність процесу самоналагодження.

Абсолютні фази $|f_{wi}|$ коренів характеристичного полінома на комплексній w_R -площині ріманової поверхні є інформативним параметром для контролю робастної стійкості і якості ЕМС. Якщо параметр $|f_{wi}|=0.314$ рад. то у перехідній функції вихідної координати ЕМС перерегулювання відсутнє. Із зменшенням $|f_{n-1,n}|$ від 0.314 рад перерегулювання зростає, і при $|f_{wi}|=0.157$ рад. виникає коливний режим. Тобто за величиною параметрів $|f_{wi}|$ можна отримувати інформацію про робастну стійкість, коливність і, в першому наближенні, якість перехідного процесу вихідної координати ЕМС.

В. О. Місюренко, М. Б. Семенюк

ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ ALTVAR 320 ЯК ЗАСОБУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УСТАНОВКИ

Проаналізовано ефективність застосування перетворювача частоти ATV320 як засобу автоматизації за використання інтегрованого у нього логічного контролера ATV Logic на прикладі практичної реалізації алгоритму керування електроприводом дробарки.

Дробарка призначена для подрібнення металевих відходів токарної обробки металу, які по конвеєру надходять до приймального бункера дробарки, звідки потрапляють на два барабани, котрі жорстко з'єднані через зубчаті шестерні. Барабани розміщені в горизонтальній площині та обертаються назустріч один одному. На поверхні барабанів встановлено фрези для подрібнення відходів токарної обробки металу.

Система керування електроприводом дробарки за використання перетворювача частоти ATV320 та інтегрованого у нього програмованого логічного контролера ATV Logic забезпечує два режими роботи дробарки: ручний та автоматичний. Ручний режим роботи використовують для налагодження та випробування механізму. В ручному режимі передбачено реверсивний режим роботи електроприводу з двома різними фіксованими швидкостями роботи «вперед» та «назад».

Автоматичний режим дробарки є основним, робочим режимом. Дозвіл на вмикання дробарки формується сухим контактом апаратури керування токарного верстата.

Логічний контролер ATV Logic перетворювача частоти ATV320 забезпечує реалізацію алгоритму роботи дробарки у випадку потрапляння в дробарку предметів, які можуть заклинити барабани дробарки. У цьому випадку реалізована система керування електроприводом дробарки автоматично визначає момент початку блокування дробарки та переводить електропривод у реверсивний режим на пониженій швидкості з метою розблокування барабанів. Роботу електроприводу в реверсивному режимі передбачено певний час, після чого автоматично відбувається запуск та робота приводу «вперед». Якщо відбувається повторне блокування, то цикл повторюється. Допускається три цикли такої роботи, після чого система керування повинна

аварійно зупинити дробарку. Якщо під час виконання команди «назад» не відбувається розблокування барабанів, робота дробарки відразу блокується.

Вищеописаний алгоритм керування електроприводом дробарки можна реалізувати на звичайному перетворювачі частоти з використанням додаткового інтелектуального реле Zelio Logic. Проте таке альтернативне рішення є суттєво дорожчим.

Викладена у статті реалізація алгоритму системи керування дробарки з використанням перетворювача частоти ATV320 із вбудованим на його борту логічним контролером ATV Logic має практичну цінність для створення нових та модернізації вже існуючих систем керування частотно-керованих електроприводів дробарок з економічного погляду.

І. З. Щур, Ю. О. Білецький

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ ПРЯМЕ КЕРУВАННЯ МОМЕНТОМ У ДВОЗОННОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ НА БАЗІ СИНХРОННОЇ МАШИНИ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ

Робота присвячена електромобілебудуванню, яке сьогодні стало провідною галуззю сучасної прикладної науки і технології. Основною підсистемою електромобіля є тяговий електропривод, який найчастіше реалізується на базі синхронних машин з постійними магнітами (СМПМ). Перевагами цих машин є вищі, порівняно з іншими машинами, значення енергоефективності, питомої потужності та моменту, коефіцієнта перевантаження за моментом, добра керованість, а також широкий діапазон регулювання кутової швидкості. Якість тягової підсистеми електромобіля значно залежить від динаміки керування його електромагнітним моментом. Найвищого значення цього показника можна досягнути, застосовуючи стратегію прямого керування моментом (ПКМ), яка для СМПМ розроблена останнім часом. Ця стратегія дає змогу безпосередньо швидко формувати потрібні значення електромагнітного моменту та потокозчеплення якоря СМПМ, проте не забезпечує можливості формування вектора струму якоря, від якого залежить енергетична ефективність машини. Остання є особливо важливою для електромобіля, зважаючи на енергетичну обмеженість системи бортового живлення. З метою забезпечення високого значення енергетичної ефективності СМПМ у цій роботі завдання на потокозчеплення якоря у першій зоні регулювання кутової швидкості формується в оптимальній залежності від поточного значення електромагнітного моменту машини. Особливістю електротранспорту є можливість зниження крутного моменту на високих швидкостях. Це дає змогу застосувати двозонне регулювання кутової швидкості та знизити встановлену потужність електродвигуна. Для енергоефективного регулювання за стратегією ПКМ кутової швидкості СМПМ у другій зоні, запропоновано методику, відповідно до якої початкове значення кутової швидкості, з якої починається ця зона, залежить від поточного значення електромагнітного моменту та величини бортової напруги електромобіля. Попередні теоретичні дослідження дали змогу визначити числові залежності між основними координатами СМПМ, за якими складено відповідні таблиці, які покладено в основу розробленої системи двозонного керування швидкістю. Проведене комп'ютерне симулювання показало ефективність запропонованого рішення та високу динаміку розробленої системи керування електроприводом електромобіля.

СКЛАДОВІ МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ ОБМОТКИ ЗБУДЖЕННЯ ПРОХІДНОГО ВИХРОСТРУМОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА У ПРОВІДНІЙ ТРУБИ

Питання моніторингу технічного стану трубопроводів для забезпечення надійності та безпеки постачання енергоносіїв (природного газу) магістральними трубопроводами набуває дедалі більшої актуальності через значний ступінь зношеності та старіння устаткування вітчизняного нафтогазового комплексу.

Основною задачею технічного діагностування трубопроводів є встановлення фактичної товщини стінки трубопроводу та виявлення дефектів типу порушення суцільності. Найбільш ефективним для проведення робіт з технічного діагностування за всією довжиною трубопроводу з мінімальними простоями в роботі трубопроводу є здійснення внутрішньотрубної діагностики з використанням інтелектуальних поршнів, які рухаються під напором транспортованого продукту. Проте внутрішньотрубна діагностика з використанням магнітних поршнів потребує удосконалення для забезпечення вищої достовірності та точності контролю.

Перевагами вихрострумowego методу контролю є безконтактність, відсутність залишкових магнітних ефектів і можливість виявляти поверхневі тріщини з малим розкриттям та дефекти розшарування металу трубопроводу.

Тому актуальною є задача визначення операторних і перехідних параметрів внутрішніх прохідних вихрострумowych перетворювачів параметричного і трансформаторного типів при імпульсному живленні для отримання багатопараметрової інформації про об'єкт контролю.

Визначено перетворені за Лапласом радіальну і осьову складові магнітної індукції екранованої кільцевої циліндричної котушки прямокутного поперечного перерізу зі струмом довільної форми, яку використовують як обмотку збудження первинного прохідного внутрішнього перетворювача при діагностуванні технічного стану внутрішньої поверхні трубопроводів.

Наведено графіки розподілу внесених об'єктом контролю і сумарних радіальної і осьової складових магнітної індукції на внутрішній поверхні труби у початковий момент часу і за усталеного режиму при збудженні первинного перетворювача імпульсами прямокутної

Є. О. Чаплигін, С. О. Шиндерук, О. С. Сабокар, В. В. Дзюба

ВИДАЛЕННЯ ВМ'ЯТИН НА МЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТЯХ АВТОМОБІЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ "ІНДУКТОРНОЇ СИСТЕМИ З ЕКРАНОМ, ЩО ПРИТЯГАЄ"

Вступ. Розробки в сфері магнітно-імпульсної обробки металів (МІОМ) знаходять все більше застосування в сучасних технологіях виробництва і ремонту авіаційної, автомобільної та іншої техніки, оскільки вони є екологічно чистими і енергоощадними, порівняно з класичними підходами. Однією з основних складових пристроїв МІОМ є інструмент-індуктор або індукторні системи з екраном, що притягає (ІСЕП).

Експериментальну апробацію «ІСЕП» із зовнішнім збудженням за допомогою багатовиткового кругового соленоїда проведено в виробничій операції з безконтактного видалення вм'ятин у зразках листових металів. Принцип дії інструменту притягання при низьких частотах дозволяє ефективно проводити операцію притягання металів будь-якої фізичної природи.

Мета. Експериментальна апробація «індукторної системи з екраном, що притягає» із зовнішнім збудженням за допомогою багатовиткового кругового соленоїда, без додаткового джерела магнітного поля, у виробничій операції з безконтактного видалення вм'ятин у зразках листових металів.

Методологія. Обмотка соленоїда підключається до джерела потужності – магнітно-імпульсній установці МІУС-2, відмінною особливістю якої є робота в серійному режимі, тобто, в режимі безперервного повторення заданого числа струмових імпульсів. Обмотка соленоїда збуджує струми в екрані і заготовці, що призводить до силового притягання металу вм'ятини до площини екрана. Як експериментальні зразки взято листові заготовки магнітних та немагнітних металів. Після силової дії на зразок, що оброблюється, спостерігається поступове зменшення вм'ятин.

Результати. Представлено результати практичної дієздатності «ІСЕР», що збуджується низькочастотним полем зовнішньої багатовиткової котушки. За реальних значень вихідних величин амплітуди сил притягання досягають $\sim 2,0$ МПа. Усереднення за площею силового впливу дає величину $\sim 1,0$ МПа. Незначне і цілком реальне для практики збільшення струму індуктора, наприклад, до ~ 15 кА, дає зростання сил притягання більш ніж в удвічі.

Висновки. Показано, що у виробничій операції з безконтактного видалення вм'ятин у зразках листових металів індукторна система з екраном, що притягає, продемонструвала ефективність практичної реалізації способу ремонту автомобільних кузовів.