

УДК 621.318

*Щ. В. АРГУН*, асп., ХНАДУ, Харків**МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНІ УСТАНОВКИ – ДЖЕРЕЛА ПОТУЖНОСТІ У ТЕХНОЛОГІЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ**

Проведено дослідження магнітно-імпульсних установок в комплексі зовнішнього усунення вм'ятин на кузовних панелях автомобілів. Наведено докладний аналіз історичних аспектів застосування магнітно-імпульсних установок в промисловості. Представлено опис магнітно-імпульсних установок лабораторії електромагнітних технологій ХНАДУ та концерну «Beulentechnik AG».

**Ключові слова:** магнітно-імпульсна установка, зовнішнє рихтування, джерело потужності, ємнісний нагромаджувач, імпульсне магнітне поле.

**Вступ.** Для практичної реалізації магнітно-імпульсних технологій зовнішнього рихтування необхідно джерело електромагнітної потужності, яке є універсальною частиною магнітно-імпульсної установки (МІУ).

Джерело потужності може використовуватися в багатьох виробничих процесах, де досить його номінального рівня енергії, що запасається. Саме тому, як раніше так і зараз, приділяється величезна увага його розробкам та удосконаленню. Для безпечної роботи всієї МІУ необхідно, щоб джерело потужності задовольняло високим вимогам щодо захисту, надійності, класу точності складових його елементів. Також важливим фактором при його розробці є габаритні розміри і вага комплексу. Не останнє місце займає і питання вартості готового виробу. Всі ці завдання, в тій чи іншій мірі, намагалися вирішити розробники МІУ, починаючи з п'ятдесятих років двадцятого сторіччя [1]. У цей період рівень розвитку джерел струму на основі імпульсних конденсаторів вже дозволяв використовувати їх в широких масштабах.

**Аналіз основних досягнень і літератури.** Можливості магнітно-імпульсної обробки металів були вперше продемонстровані фахівцями США в 1958 році за допомогою експериментальної МІУ типу «Magneform» на другій міжнародній конференції з мирного використання атомної енергії (м. Женева, Швейцарія) [2]. Перший в світі промисловий МІУ типу «Magneform-1» був виготовлений у 1962 році відомою американською фірмою General Dynamics Corporation [3].

В середині шістдесятих років ХХ сторіччя фірми Німеччини (Siemens, Hahn and Kolb), лабораторії Великобританії (Wickmen, Machine Tools), Франції (General D'Electricity), Швейцарський науковий центр (General Atomic Europe) і японські компанії (Mitsubishi Danku, Dzankusu Cabusiky Kise) почали розробки магнітно-імпульсних установок для вирішення виробничих завдань [1].

У СРСР роботи з дослідження та розробки технологічного обладнання для обробки металів тиском сильних імпульсних магнітних полів (ІМП) були розпочаті в 1962 році в Науково-дослідній лабораторії техніки високих напруг та перетворювачів струму Харківського політехнічного інституту під науковим керівництвом відомих електротехніків І.В. Білого та С.М. Фертика. Перша вітчизняна дослідно-промислова установка типу МІУ-20/1 була виготовлена в 1963 році в НДЛ ТВН і ПТ ХПІ і введена в дослідно-промислову експлуатацію в 1964 році. По теперішній час в ХПІ було розроблено та введено в промисловість понад двадцять типів МІУ у кількості сто п'ятдесят одиниць [1].

Всього в СРСР зафіксована експлуатація понад шістсот МІУ, розроблених і

© Щ. В. Аргун, 2013

впроваджених у промисловість провідними науково-дослідними та навчальними організаціями Москви, Ленінграда, Харкова, Куйбишева, Мінська, Смоленська, Чебоксар, Риги і інших [4...6].

Так у виданнях [1, 7] наведені технічні дані МІУ виготовлених в Харкові, а в [8] – в Мінську; в дисертації [5] досліджується МІУ для формування металів енергією ІМП; в статті [6] описується малогабаритна дослідно-промислова МІУ; в [9] представлено комплекс з низькою електропровідністю; в [10] описується установка для експериментальних досліджень вибуху провідників в різних середовищах; у статті [11] наводяться відомості про існуючі МІУ, розроблені у ЕНІКМАШ і ХПП; у публікації [12] описується установка для отримання сильного ІМП до 350 ке і 400 ке відповідно і т.д.

Найбільш важливим енергетичним вузлом джерела потужності МІУ є ємнісний нагромаджувач, який представляє собою батарею конденсаторів до яких пред'являється ряд вимог, що забезпечують, в першу чергу, достатню величину коефіцієнта корисної дії установки в цілому. Тому ємнісним нагромаджувачам енергії та їх зарядним пристроям, як складовим елементам МІУ присвячено досить велику кількість робіт. Наприклад, стаття [13] присвячена методиці розрахунку деяких основних схем зарядних пристроїв ємнісних нагромаджувачів для магнітно-імпульсної обробки металів. У публікації [14] вивчено вплив параметрів розрядного контуру МІУ на ресурс імпульсного конденсатора, а робота [15] присвячена опису розробленої авторами установки для магнітно-імпульсного деформування попередньо нагрітих металів. Наведено розрахунки і дані аналітичні вирази, що дозволяють визначити оптимальні фазові кути відкриття тиристорів зарядної ланцюга.

Також до найбільш важливих параметрів МІУ відноситься власна частота розрядного імпульсу. У роботі [16] авторами отримана формула для визначення оптимальної частоти магнітно-імпульсної установки.

Серед закордонних держав, де найбільш широко розгорнуті роботи щодо створення і використання ІМП для технологічних цілей, слід виділити США [1].

Треба зазначити, що починаючи з середини шістдесятих років ХХ сторіччя, розробкою МІУ і впровадженням їх у промисловість почали займатися фірми ФРН, Великобританії, Франції, Японії, Швейцарії, Бельгії та інші [1].

Необхідно відзначити, що окрім традиційного використання МІУ в технологічних процесах з обробки металів, активно розвиваються й інші, альтернативні, напрямки в застосуванні ІМП: прискорення твердих тіл до гіперзвукових швидкостей, очищення лиття, бункерів, поверхонь літальних апаратів і електрофільтрів, нарізка листових і кутових профілів на мірні заготовки, деформування деталей ударом твердого тіла. Нарешті, особливо слід виділити роботи по деформуванню металів в умовах істотного проникнення полів [1].

Також створені спеціальні МІУ для деформування магнієвих сплавів. Вони поєднують попередній високочастотний нагрів заготовок з подальшим їх деформуванням силами ІМП [17], а також спеціальні установки для зварювання різнорідних матеріалів у твердій фазі [18].

**Мета дослідження, постановка задачі.** Таким чином, стає ясно, що удосконалення джерела потужності установки, яка використовується у технологіях з використанням енергії електромагнітних полів – одне з найважливіших завдань для отримання висококласного магнітно-імпульсного комплексу, що задовольняє всім вимогам для його продуктивної, безпечної і надійної роботи.

**Мета роботи** – дослідження магнітно-імпульсних установок в комплексі зовнішнього усунення вм'ятин на кузовних панелях автомобілів.

**Матеріали досліджень та результати досліджень.**

Магнітно-імпульсна установка МІУС-2. Магнітно-імпульсна установка МІУС-2, яка генерує серії струмових імпульсів була розроблена і створена в Лабораторії електромагнітних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету [1, 19].

Магнітно-імпульсна установка МІУС-2 (рис. 1) є джерелом електромагнітної потужності для виконання виробничих операцій по рихтуванню і правці тонкостінних металевих елементів транспортних засобів, а також для операцій збірки і формовки.

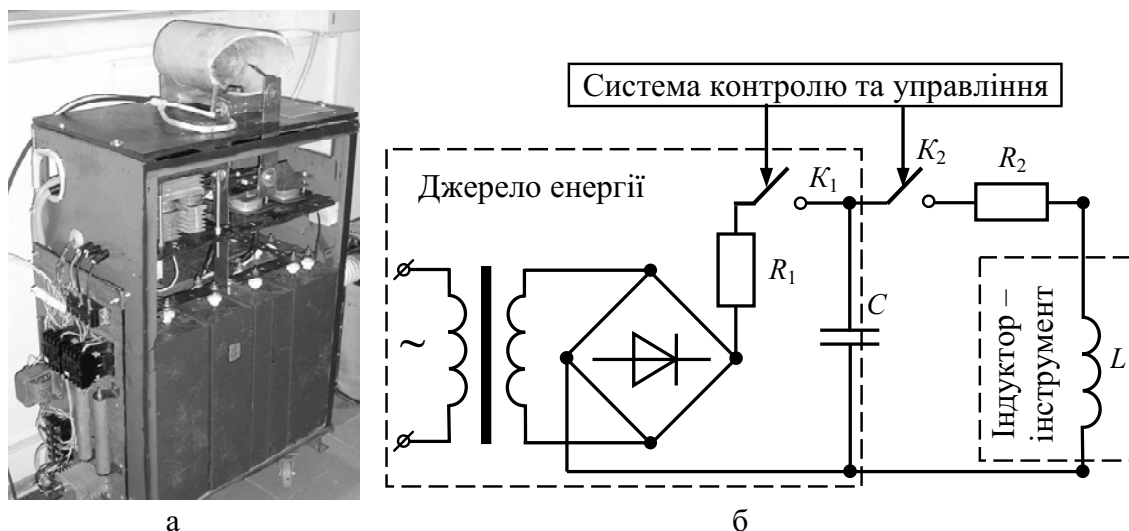


Рисунок 1 – Магнітно-імпульсна установка МІУС-2:  
а – зовнішній вид; б – загальна електрична схема

*Технічні характеристики МІУС-2:*

- енергія, що запасується  $W \approx 2$  кДж;
- напруга мережі живлення 380/220 В;
- ємність конденсаторів  $C = 1200$  мкФ;
- власна частота  $f_0 \approx 7$  кГц;
- власна індуктивність  $L \approx 440...500$  нГн;
- напруга заряду ємнісних нагромаджувачів  $U \approx 100...2100$  В;
- частота проходження розрядних імпульсів  $f_{\text{имп}} \approx 1...10$  Гц;
- тип комутаторів – тиристорні ключі;
- розрядний імпульс уніполярної форми.

Для збільшення ефективності МІУ і зниження потужності енергетичного споживання і собівартості, проведено заміну потужного одноразового силового впливу серією досить малих імпульсів, сумарна дія яких має бути достатньою для реалізації відповідного технологічного завдання [19].

У МІУ частота проходження розрядних імпульсів задається програмно з урахуванням того, що тимчасові інтервали між імпульсами повинні забезпечувати процес заряду конденсаторів. Амплітуда кожного з імпульсів повинна відповідати умові досягнення рівня механічної енергії, необхідної для виконання мінімальної роботи деформації з подолання межі текучості металу, який обробляється. Кількість імпульсів у серії вибирається з умови отримання необхідного рівня деформації за умовами технічного завдання на виробничу операцію в цілому. Таким чином, регулювання рівня енергії, яка подається в робочу зону індукторної системи, може здійснюватися не тільки варіюванням зарядної напруги нагромаджувача при встановленій величині ємності, але й варіюванням часу силового впливу.

*Принцип дії установки.* Зарядний пристрій заряджає ємнісний нагромаджувач до заданого рівня енергії упродовж 0,1 с. Далі йде розряд на навантаження – інструмент-індуктор протягом 1...2 с. Потім процес заряд-розряд повторюється. Ці цикли йдуть продовж заданого інтервалу часу. Система контролю і управління МІУ забезпечує синхронну роботу комутаторів  $K_1$  і  $K_2$  протягом кожного циклу заряд-розряд так, що при заряді ємності  $K_1$  відкрито, а  $K_2$  закрито. По досягненні необхідної напруги на конденсаторах, одночасно,  $K_1$  розриває зарядний контур, а  $K_2$  замикає розрядний контури.

На закінчення приведемо типові ілюстрації характеристик процесів заряд-розряд в магнітно-імпульсному джерелі потужності, рис. 2.

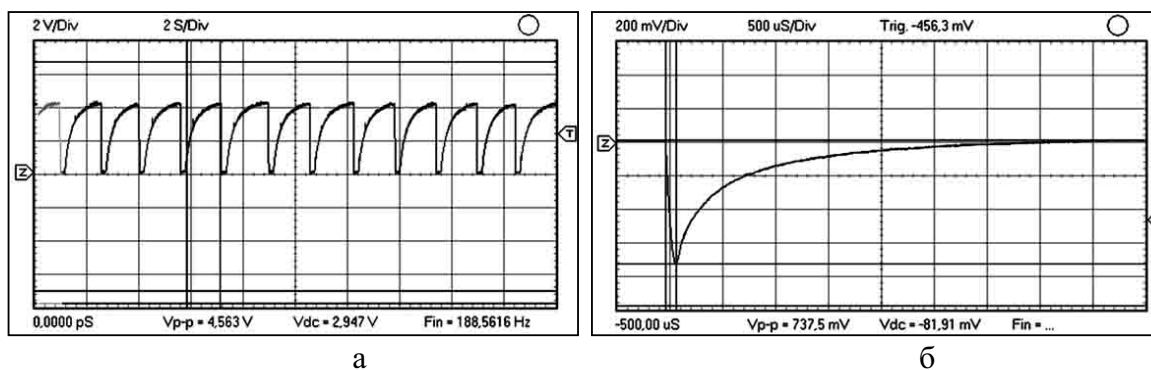


Рисунок 2 – Осцилограми: а – заряду конденсаторної батареї, б – розрядного імпульсу магнітно-імпульсної установки при роботі на індуктивне навантаження

*Магнітно-імпульсна установка MDR-1.* Приведений короткий опис магнітно-імпульсної установки – джерела електромагнітної потужності, яка розроблена і створена інженерами фірми "Тесла" (Чехія) за замовленням авторемонтного концерну "Beulentechnik AG", повністю базується на матеріалі, взятому безпосередньо з першоджерела [20].

Принципова схема магнітно-імпульсного комплексу в цілому, включаючи і індукторну систему – інструмент, приведена на рис. 3.

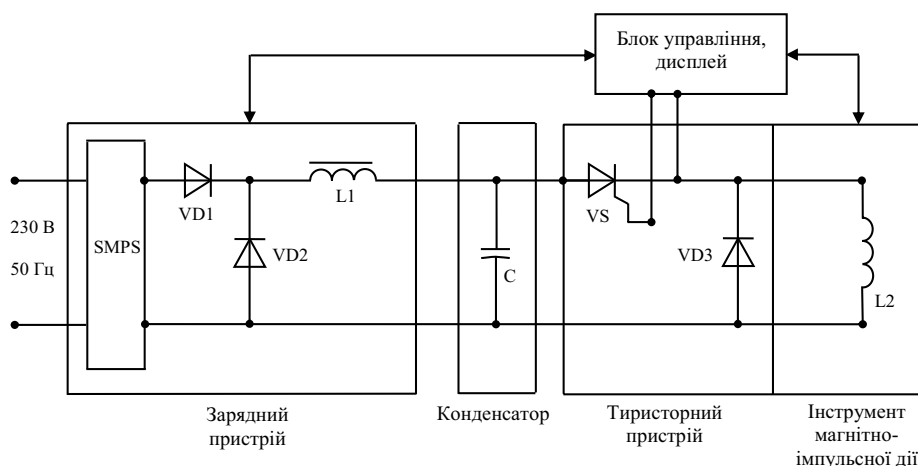


Рисунок 3 – Принципова схема магнітно-імпульсної установки фірми "Тесла"

Слід зазначити, що в запропонованій до уваги читача схемі джерела електромагнітної потужності присутні усі основні складові, характерні і типові для всіх схем цього типу, у тому числі і функціональні елементи МІУС-2.

Тут присутні зарядне і розрядне коло з електронним управлінням, виконаним на тиристорах, системи контролю з виводом на дисплей основних характеристик процесу.

Робота цієї магнітно-імпульсної установки, практично, нічим не відрізняється від аналога – МІУС-2. Тому, не зупиняючись на деталях, приведемо лише фотографії загального вигляду усього магнітно-імпульсного комплексу для зовнішнього рихтування автомобільних кузовів – MDR-1, рис. 4.



Рисунок 4 – Загальний вигляд магнітно-імпульсної установки фірми "Тесла" (гнучкий кабельний зв'язок сполучає електричний вихід установки з інструментом)

До основних недоліків обладнання концерну «Beulentechnik AG» в порівнянні з розробками лабораторії електромагнітних технологій ХНАДУ слід віднести:

- застосування в якості інструменту багатовиткової котушки, яка, судячи з опису в цитованих патентах, досить складна у виготовленні і, як показав увесь практичний досвід магнітно-імпульсної обробки металів, вельми недовговічна в експлуатації;
- можливість роботи тільки з феромагнетиками (окремі сталеві композиції), і неможливість усунення вм'ятин в немагнітних металах (алюмінієві сплави та ін.);
- принцип дії заснований на застарілих до теперішнього часу висновках перших науково-дослідних пошукових робіт 2003-2004 років, які не дозволяють у достатній мірі реалізувати всі позитивні можливості магнітно-імпульсного притягання (надалі будуть висвітлені більш ефективні пропозиції в результаті авторських досліджень електрофізичної природи електромагнітних процесів, що протікають);
- робота тільки в однократному режимі генерування силових імпульсів.

При розробці МІУС-2 були враховані всі вище перелічені недоліки, що дозволило підвищити ефективність джерела потужності, як основного складового елемента комплексу зовнішнього безконтактного рихтування пошкоджених елементів кузовних панелей автомобілів.

**Висновки.** Основні результати проведених досліджень зводяться до наступних положень:

1. Проведено дослідження магнітно-імпульсних установок в комплексі зовнішнього усунення вм'ятин на кузовних панелях автомобілів.
2. Наведено докладний аналіз історичних аспектів застосування магнітно-імпульсних установок в промисловості.
3. Представлено опис магнітно-імпульсної установки Лабораторії електромагнітних технологій ХНАДУ та концерну «Beulentechnik AG» в комплексі зовнішнього безконтактного рихтування кузовних панелей автомобілів.
4. Перелічені основні недоліки обладнання «Beulentechnik AG» у порівнянні з розробками лабораторії електромагнітних технологій ХНАДУ.

**Список літератури:** 1. *Гнатов А. В.* Анализ электродинамических процессов в цилиндрических индукторных системах – инструментах магнитно-импульсной рихтовки : монографія / *А. В. Гнатов.* – Х. : ХНАДУ, 2013 – 292 с. 2. *Высокоскоростное деформирование металлов* / [под ред. *А. М. Шахназарова*]. – М. : Машиностроение, 1966. – 175 с. 3. Пат. 3,196,649 USA (США). Devices for metal-forming by magnetic tension / *Harold P. Furth*; заявитель и патентообладатель Advanced Kinetiks, Inc., Costa Mesa, California. – № 173,680 ; заявл. 16.02.1962; опубл. 27.07.1965. 4. *Баранов М. И.* Прогрессивные импульсные технологии обработки материалов: история, физические основы и технические возможности / *М. И. Баранов* // *Електротехніка і електромеханіка.* – Х., 2009. – № 1. – С. 42–54.. 5. *Батыгин Ю.В.* Аналитические модели в исследованиях силового воздействия проникающих электромагнитных полей на проводники и диэлектрики: дисс. ... доктора техн. наук : 05.09.13 / *Батыгин Юрий Викторович.* Х., 1991. – 305 с. 6. Разработка и исследование установки МИ–1 для формообразования металлов энергией импульсного магнитного поля / *Б. У. Борензон, С. М. Вайханский, П. Н. Дашук, Ю. Я. Лифинц* // Сб. *Электрофизическая аппаратура и электрическая изоляция.* – М. : Энергия. – 1970. – С. 67–71. 7. *Белый И. В.* Установка для магнитноимпульсной формовки металлов / *И. В. Белый* // *Обработка металлов энергией взрыва: Сб. статей.* – К. : ИТИ, – 1965. – С. 33–35. 8. *Талалаев А. К.* Магнитно–импульсная обработка металлов / *А. К. Талалаев, Ю. В. Подливаев* – М. : Машиностроение, 1975. – 135 с. 9. *Кривонос Ю. И.,* Магнитно–импульсная установка / *Ю. И. Кривонос, Г. А. Смирнов.* – Информ. листок № 438. – Минск. – 1978. – 4 с. 10. Установка для магнитно-импульсной обработки металлов с низкой электропроводностью : тезисы докладов II Всесоюзной научно–технической конференции по МИОМ, (Харьков, 1973 г.) / *Андрианов А. М., Демичев В. Ф., Елисеев Г. А.* и др. – Харьков. 1973. – С. 87–88. 11. *Будович В. Л.* Использование коммутации импульсных токов с помощью взрывающихся проводников / *В. Л. Будович И. П. Кузнецкин* // *Электрофизические процессы при импульсном разряде.* – Чебоксары : Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова. – 1975. – Вып. 2. – С. 50 – 61. 12. *Кочарян К. Н.* Установка для получения магнитного поля до 350 кЭ с длительностью до 10 мсек / *К. Н. Кочарян, Е. Г. Рудиевский* // *Физические исследования в сильных магнитных полях.* – М. : Наука, 1973. – С. 127–131. 13. *Данилевич О. И.* Учет намагничивающего тока трансформатора при заряде емкостного накопителя магнитно–импульсной установки / *О. И. Данилевич* // *Вестник ХПИ.* – 1971. – № 53. – Магнитно–импульсная обработка металлов. – Вып. 1. – С. 62–65. 14. *Захарова Е. Г.* К расчету зарядного устройства емкостного накопителя энергии для магнитно–импульсной обработки металлов / *Е. Г. Захарова, Ю. А. Попов* // *Высоковольтная импульсная техника.*

Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т им. И. Н. Ульянова, 1975. – Вып. 2. – С. 105–117. **15.** Беспалов В.Д. К вопросу разработки конденсатора из конденсаторной бумаги с полярной пропиткой для магнитно-импульсных установок / В. Д. Беспалов, В. В. Конотов, В. Я. Линецкий // Вестник ХПИ. – 1971. – № 53. – Магнитно-импульсная обработка металлов. – Вып. 1. – С. 56–62. **16.** Анализ электромагнитных процессов в зарядном устройстве генератора импульсного индукционного нагрева комбинированной магнитно-импульсной установки / М. И. Баранов, И. В. Белый, Д. Д. Горкин, Л. Т. Хищенко // Вестник ХПИ. – 1974. – № 94. – Магнитно-импульсная обработка металлов. – Вып. 2. – С. 3–10. **17.** Чаплыгин Е. А. Разработка цилиндрических индукционных индукторных систем для магнитно-импульсного притяжения тонких металлических листов: дисс. ... кандидата техн. наук : 05.09.13 / Чаплыгин Евгений Александрович. – Х., 2009. – 169 с. **18.** Дудин А. А. Сварка труб импульсным магнитным полем / А. А. Дудин, В. В. Ермолаев, Д. Н. Лысенко // Сварочное производство. – 1971. – № 2. – С. 16–18. **19.** Лаборатория электромагнитных технологий [Электронный ресурс] – 2013. – Режим доступа: <http://electromagnetic.comoj.com>. **20.** Electromagnetic Dent Removal: onsite repairs in minutes [Электронный ресурс] – 2013. – Режим доступа: [http://www.boeing.com/commercial/aviationservices/brochures/34241\\_ElectDentRemoval04-05.pdf](http://www.boeing.com/commercial/aviationservices/brochures/34241_ElectDentRemoval04-05.pdf).

*Надійшла до редколегії 12.05.2013*

УДК 21.318

**Магнітно-імпульсні установки – джерела потужності у технологіях з використанням енергії електромагнітних полів / Щ. В. Аргун // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 30 (1003). – С. 100–106. – Бібліогр.: 20 назв.**

Проведено исследование магнитно-импульсных установок в комплексе внешнего устранения вмятин на кузовных панелях автомобилей. Приведен подробный анализ исторических аспектов применения магнитно-импульсных установок в промышленности. Представлено описание магнитно-импульсных установок Лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ и концерна «Beulentechnik AG».

**Ключевые слова:** магнитно-импульсная установка, внешнее рихтовка, источник мощности, емкостной накопитель, импульсное магнитное поле.

Research of magnetic-pulse installations in a complex of external elimination of dents on body panels of cars is conducted. The detailed analysis of historical aspects of application of magnetic-pulse installations is provided in the industry. Description of magnetic-pulse installations HNADU "Laboratories of the Electromagnetic Technologies" is submitted and «Beulentechnik AG» concern.

**Keywords:** magnetic-pulse installation, external leveling, power source, capacitor store, pulse magnetic field.