

Фалько О. Л., к.т.н., доцент (Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.l.falko@nuwm.edu.ua)

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИНЦИПУ ДІЇ ВІБРОМАШИН ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ОДНОТАКТНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВІБРАТОРА

На хімічних, харчових виробництвах та в багатьох інших галузях широко використовуються легкі одномасні вібраційні машини з електромагнітним приводом: невеликі віброконвеєри, вібробункери, дозатори, тощо. В деяких випадках сфера використання цих пристроїв обмежена через зависоку частоту коливань та замалу амплітуду. В цій роботі обґрунтовано новий принцип дії вібромашин з електромагнітним приводом (при використанні однокітного електромагнітного вібратора), який дозволяє збільшити амплітуду і зменшити частоту коливань робочих органів вібромашин без зміни стандартної частоти струму в електричній мережі. Це надає можливість поширити сферу використання вібромашин з такими приводами, оскільки електромагнітні приводи є найбільш дешеві, довговічні та економічні.

Ключові слова: електромагнітний привід; вібромашина; вібратор.

Стан проблеми. На хімічних і харчових виробництвах та в багатьох інших галузях широко використовуються легкі одномасні вібраційні машини: вібраційні сита, грохоти, різноманітні сепаратори і гранулятори, дозатори, класифікатори, калібрувальні машини, подрібнювачі, невеликі за довжиною віброконвеєри [1; 2]. З усіх типів віброприводів для цих вібромашин електромагнітні вібратори є найбільш дешевими, надійними, довговічними і економічними, вони порівняно малі габарити, масу і майже не потребують періодичного обслуговування на відміну від інших типів віброприводів [1; 2]. Але істотними недоліками електромагнітних вібраторів є мала амплітуда і висока частота коливань, що обмежує сферу їх використання. Тому підвищення амплітуди і зниження частоти коливального процесу робочого органу вібромашин з електромагнітним приводом є

актуальною науковою задачею. З її вирішенням є можливим поширення застосування електромагнітного приводу для багатьох технологічних процесів вібраційного транспортування та сортування у багатьох галузях, що сприятиме зниженню енерговитрат та конструкційних матеріалів.

Актуальність. Знизити частоту коливань робочих органів вібромашин можна при застосуванні в якості приводу електродинамічного вібратора за допомогою генератора частот електричного струму і підсилювача потужності [2]. Аналогічного результату можна досягти, якщо для збудження коливань використовувати ексцентриковий вібропривід при відповідному редукторі, або електродвигун, частота обертання якого регулюється. Такі способи мають недоліки: зростання вартості через додаткове обладнання, підвищення енерговитрат, габаритів і маси вібромашин, ускладненість конструкції. В останні роки було розроблено способи зниження частоти коливального процесу [3; 4] для вібромашин з електромагнітними вібраторами, які дозволяють вдвічі знизити частоту коливань робочого органу і підвищити амплітуду. Але ці результати не є достатніми для значного поширення використання електромагнітних вібраторів.

Метою досліджень є обґрунтування нового принципу дії вібромашин з електромагнітним приводом [5], який є синтезом попередніх розробок [3; 4]. Цей спосіб дозволяє без зміни стандартної частоти електричного струму у мережі знизити частоту коливань робочого органу будь-якої вібромашини з електромагнітним приводом в 4 рази і, майже відповідно, підвищити амплітуду коливань робочого органу.

Здійснюється пропонований спосіб зниження частоти коливального процесу [5] за наступною схемою (рис. 1). Збудником коливань є однофазний електромагнітний вібратор (з незначними змінами у конструкції), на статор якого подається спрямований (через діод) напівперіодний струм із стандартною частотою $\nu = 50$ Гц.

Нижній графік на рисунку 1 відображає коливання сили I спрямованого напівперіодного електромагнітного струму з частотою $\nu = 50$ Гц (циклічна частота $\omega = 2\pi\nu = 100\pi$ рад/с). Нижня частина цього графіка, що відповідає від'ємному значенню I , є заштрихованою, – заштриховані напівперіоди коливань сили струму I не існують через дію діоду в електричному ланцюгу статора. Верхня частина цього графіка, що відповідає позитивному значенню I ,

позначена знаком „+”, бо позначені знаком „+” напівперіоди сили струму I існують.

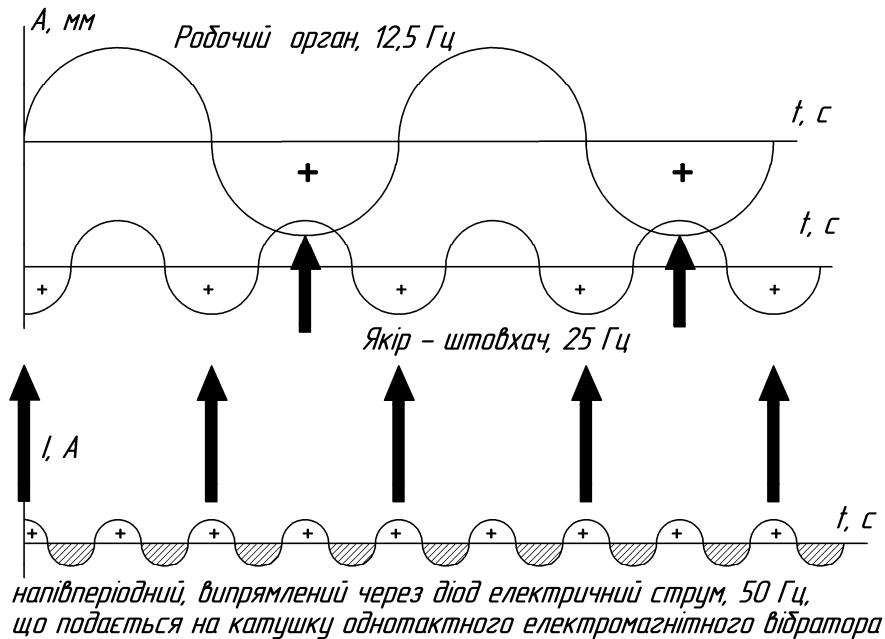


Рис. 1. Теоретичні графіки коливального процесу

Якір вібратора повинен бути достатньо масивним (мати коливну масу більшу за стандартну) і налаштованим здійснювати власні коливання з частотою $\nu_{\text{як}} = 25$ Гц ($\omega_{\text{як}} = 50\pi$ рад/с), вдвічі меншою за стандартну частоту електричного струму, що досягається шляхом нескладної переробки електромагнітного вібратора для встановлення необхідного співвідношення коливної маси якоря $m_{\text{як}}$ і коефіцієнта жорсткості його ресор $k_{\text{як}}$:

$$\omega_{\text{як}} = \sqrt{\frac{k_{\text{як}}}{m_{\text{як}}}} = 50\pi. \quad (1)$$

Середній графік на рисунку 1 відображає амплітуду A коливань якоря у часі. Амплітуди A коливань якоря, що відповідають найближчому положенню якоря до статора вібратора відносно положення статичної рівноваги якоря, позначені знаком „+”. Знак „+” означає, що у ці моменти силовий вплив магнітного поля є достатньо великий для поповнення енергетичних витрат за повний період власних механічних коливань якоря у сталому режимі коливань. Таким чином підтримка власних механічних коливань якоря

здійснюється в кожному періоді коливань якоря (на рисунку це позначено стрілками між нижнім і середнім графіками). Напівперіоди механічних коливань якоря, що відповідають позитивному значенню амплітуди, не мають позначки „+”, бо вони відповідають перебуванню якоря у найдальшому від статора крайньому положенні. У такі напівперіоди магнітний потік не робить істотного впливу на коливальний рух через далеку відстань якоря від статора. Ця далека відстань якоря від статора виникає за час відсутності напівперіоду коливань сили електричного струму (при збільшеній амплітуді A коливань якоря). Таким чином, істотний вплив на пружну коливну систему (на якір) мають силові магнітні імпульси, які чергуються через один період коливань спрямованого напівперіодного електричного струму у моменти проходження якорем найближчого до статора крайнього положення (на відміну від стандартного електромагнітного вібратора, де підтримка коливань якоря електромагнітною силою від статора здійснюється протягом майже всього періоду коливань та частота механічних коливань якоря розрахована на стандартну частоту струму).

Відстань між статором і положенням статичної рівноваги якоря збільшено для врахування майже вдвічі збільшеної амплітуди механічних коливань якоря. Якби якір жорстко поєднати з робочим органом будь-якої вібростанини, то коливання робочого органу здійснювалися би з частотою вдвічі меншою за стандартну частоту електричного струму і майже з вдвічі більшою амплітудою порівняно із амплітудою стандартного вібратора.

Але внаслідок поєднання двох способів зниження частоти коливального процесу у пропонованому способі якір і робочий орган є окремими пружними коливальними системами, кожна з яких виконує механічні коливання з власною частотою.

Верхній графік на рисунку 1 відображає амплітуду механічних коливань робочого органу будь-якої вібростанини. Збудником коливань для робочого органу, який встановлено на власних пружних елементах, є періодична ударно-штовхальна дія якоря у моменти найближчого положення якоря до робочого органу, коли якір знаходиться у своєму найближчому до робочого органу положенні відносно положення власної статичної рівноваги, а робочий орган знаходиться у своєму найближчому до якоря положенні відносно положення власної статичної рівноваги. Така взаємодія якоря і робочого органу відбувається у кожному періоді

коливань робочого органа (позначки «+» на верхньому графіку) та один раз у два періоди коливань якоря і на рисунку позначена стрілками між середнім і верхнім графіками. Частота власних механічних коливань робочого органа встановлюється через співвідношення його коливної маси m_{PO} і коефіцієнта жорсткості його ресор k_{PO} :

$$\omega_{PO} = \sqrt{\frac{k_{PO}}{m_{PO}}} = 25\pi. \quad (2)$$

Частота власних коливань робочого органу $\omega_{PO} = 25\pi$ рад/с ($\nu_{PO} = 12,5$ Гц) стала в чотири рази меншою за стандартну частоту електричного струму у мережі: $\omega = 100\pi$ ($\nu = 50$ Гц) і вдвічі меншою за частоту механічних коливань якоря $\omega_{як} = 50\pi$ рад/с ($\nu_{як} = 25$ Гц). Відповідно, періоди T власних механічних коливань робочого органу, якоря і електромагнітних коливань мають співвідношення 4:2:1. Співвідношення мають збільшених амплітуд коливань робочого органу і якоря є 2:1, що спостерігалось при експериментах.

Після запуску вібр машини протягом 5–6 с відбувається самосинхронізація коливального процесу під впливом взаємної дії якоря і статора та дії магнітної сили. При самосинхронізації коливальні процеси якоря і робочого органу зміщуються у часі відносно один одного та відносно коливань магнітної сили (електричного струму у статорі), що відображено на скорегованих графіках коливальних процесів після самосинхронізації (рис. 2).

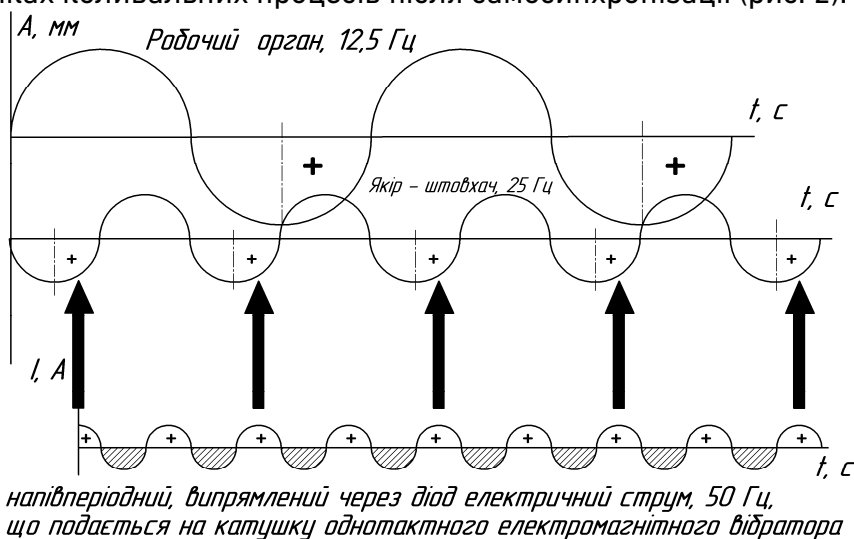


Рис. 2. Скореговані графіки коливального процесу після самосинхронізації
370

Завдяки самосинхронізації відбувається налаштування стабільного режиму коливань. З нижнього графіка на рисунку 2, що відображає коливання сили I випрямленого напівперіодного електричного струму, бачимо, що реальна дія магнітної сили на якір починається коли останній починає рухатись від статора до положення власної статичної рівноваги. Тобто напрямком дії магнітної сили постійно співпадає з напрямком руху якоря. Аналогічно, що можна бачити на середньому і верхньому графіку, механічна взаємодія якоря і робочого органа починається, коли робочий орган починає рухатись від якоря до положення власної статичної рівноваги. Тобто напрямком механічної дії якоря постійно співпадає з напрямком руху робочого органа. При такому взаємному розташуванні графіків, що відображають реальні процеси, немає зайвих витрат енергії і відбувається стабільна періодична магнітна взаємодія статора з якорем і періодична механічна взаємодія якоря із робочим органом.

Оскільки ми з'ясували, що $2\omega_{PO} = \omega_{ЯК}$, то отримаємо рівняння:

$$2 \cdot \sqrt{\frac{k_{PO}}{m_{PO}}} = \sqrt{\frac{k_{ЯК}}{m_{ЯК}}} . \quad (3)$$

Піднівши до квадрата обидві частини рівняння (5), отримаємо після простих перетворень:

$$m_{ЯК} = \frac{1}{4} m_{PO} \frac{k_{ЯК}}{k_{PO}} . \quad (4)$$

Прийнявши, для прикладу, рівну жорсткість ресор $k_{ЯК} = k_{PO}$, отримаємо співвідношення мас якоря і робочого органа у більш спрощеному виді: $m_{ЯК} = \frac{1}{4} m_{PO}$.

Описаний спосіб зниження частоти коливального процесу [5] є достатньо економічним, оскільки корисна робота виконується завдяки внутрішнім силам коливних систем якоря і робочого органа. Енергетично підтримуються магнітною силою лише коливання якоря протягом менш ніж четвертої частини періоду його власних коливань. Маса якоря повинна бути досить ваговою відносно маси робочого органа з вантажем, який переміщується чи обробляється.

Швидкості якоря і робочого органа описуються рівняннями:

$$\begin{cases} V_{PO} = A_{PO} \omega_{PO} \cos(\omega_{PO} t) \\ V_{ЯК} = A_{ЯК} \omega_{ЯК} \cos(\omega_{ЯК} t) \end{cases} \quad (5)$$

Виходячи із співвідношення амплітуд і частот, можна стверджувати про рівність швидкостей якоря і робочого органа у нейтральних та крайніх положеннях.

Згідно з графіком (рис. 2) у момент контакту якоря з робочим органом якір знаходиться близько до свого середнього положення, тобто його швидкість близька до максимальної і визначається за відомою формулою (5) при $\cos(\omega_{ЯК} t) \approx 1$. Цей момент приблизно відповідає крайньому нижньому положенню робочого органа, коли його швидкість близька до нуля при $\cos(\omega_{PO} t) \approx 0$. Тобто, з невеликою погрішністю можна прийняти, що сумарна швидкість співударяння складе $V_{ЯК} = A_{ЯК} \omega_{ЯК}$. При визначеному співвідношенні мас якоря та робочого органа, наприклад 1:4, прийнявши ряд припущень, щодо співударяння, можна далі розрахувати енергію, яку якір віддає робочому органу при кожному співударянні і яку повинен отримати від магнітної сили за два періоди власних коливань, з урахуванням енергетичних втрат, що існують при власних коливаннях.

На розробленому і виготовленому (з урахуванням описаних вище теоретичних положень) дослідному зразку вібростанини було експериментально підтверджено можливість реалізації і працездатність нового способу зниження частоти коливального процесу для машин вібраційного руху з електромагнітним приводом. Для того, щоб на початку роботи вібратора якір-штовхач міг торкатися нерухомого робочого органу у його нейтральному положенні і за 5–6 секунд вводити його у стабільний коливний режим (шляхом самосинхронізації), необхідно було під час пуску вібратора збільшувати амплітуду коливань шляхом збільшення напруги електричного струму (в експериментах використовувався автотрансформатор), або вивести робочий орган з положення статичної рівноваги механічно.

Для зниження шуму від ударних взаємодій між якорем і робочим органом було встановлено жорстку гумову прокладку, що значно знизило шум від механічної взаємодії.

При експериментах п'єзодатчик ІС–318 встановлювався спочатку на робочому органі, а потім на якорі переробленого

вібратора ЕЛ-1, а сигнал з нього передавався до блоку вимірювання вібрації, який відображав амплітуду віброприскорення в одиницях g : $\Gamma_{PO} = A\omega^2/g$. Частота коливань контролювалася вимірювальним приладом ІЧ – 5. З урахуванням частоти коливань робочого органа ($\omega_{PO} = 25\pi$ рад/с) і якоря ($\omega_{ЯК} = 50\pi$ рад/с), після вимірювання значення амплітуди віброприскорення в одиницях g ($\Gamma_{PO} = A\omega^2/g$) вираховувалась амплітуда коливань робочого органу:

$$A_{PO} = \frac{g \Gamma_{PO}}{\omega_{PO}^2} . \quad (6)$$

Аналогічно вираховувалась амплітуда коливань якоря:

$$A_{ЯК} = \frac{g \Gamma_{ЯК}}{\omega_{ЯК}^2} . \quad (7)$$

Також для перевірки амплітуди якоря і робочого органа вимірялися експериментально. Амплітуди вимірялися відповідно до методики [6]. Вимірювальний мікроскоп Мир – 2 встановлювався на штативі з нерухомою підставою та підводився на необхідну відстань до тонкого блискучого освітленого дроту, закріпленого на якорі, а потім на робочому органі. При коливаннях поверхні якоря, а потім робочого органа в окулярі мікроскопа була видна освітлена коліматором смуга шириною, яка дорівнює розмаху коливань і ширині дроту. Розбіжності між експериментальними значеннями амплітуди і аналітико-експериментальними, що визначалися за формулами (6) і (7) становили близько 4%. Значення амплітуд якоря і робочого органу співвідносилися одна до одної приблизно як 1:2. Якщо врахувати збільшену майже вдвічі амплітуду коливань переробленого вібратора, то, фактично, було досягнуто збільшення амплітуди коливань робочого органу майже у 4 рази і зниження частоти коливань робочого також у 4 рази порівняно із стандартною схемою, коли якір стандартного однокітного вібратора жорстко закріплений до робочого органу.

Висновки

1. Обґрунтовано новий принцип дії для вібротомашин з електромагнітним приводом, який дозволяє знизити частоту коливань робочого органу вібротомашини в 4 рази і відповідно підвищити амплітуду коливань робочого органу.

2. Запропонований принцип дії вібротриш з електромагнітним приводом має переваги у тому, що не потребує застосування вартісних, енергоємних додаткових приладів та зміни стандартної частоти струму в електричній мережі.

3. Розроблений принцип дії вібротриш з електромагнітним приводом дозволяє поширити використання електромагнітних приводів на вібротриша хімічної, харчової та інших галузей, що сприятиме зниженню енерговитрат та конструкційних матеріалів, оскільки електромагнітні вібратори є найбільш дешевими, надійними, довговічними, найбільш економічними.

4. З експериментів підтверджено можливість реалізації і працездатність нового принципу дії вібротриш з електромагнітним приводом.

Перспективами подальших досліджень у цьому напрямі є:

1. Визначення граничних умов і оптимальних параметрів реалізації розробленого принципу дії вібротриш з електромагнітним приводом, а саме граничних і оптимального значень співвідношення коливних мас якоря і робочого органу з рухомих вантажем, визначення відповідних амплітуд і частот.
2. Визначення допустимих співвідношень маси робочого органу до маси матеріалу, який рухається по робочому органу, що необхідно для стабільності заданого коливального процесу.
3. Теоретичні і експериментальні дослідження енерговитрат і необхідної потужності для коливального процесу при реалізації розробленого принципу дії вібротриш з електромагнітним приводом.

1. Спиваковский А. О., Гончаревич И. Ф. Вибрационные конвейеры, питатели и вспомогательные устройства. М. : Машиностроение, 1972.
2. Блехман И. И., Джанелидзе Г. Ю. Вибрационное перемещение. М. : Наука, 1964. 412 с.
3. Спосіб зниження частоти коливань : пат. 70727 Україна / О. Л. Фалько. Бюл. № 10. 2004.
4. Спосіб зниження частоти коливального процесу : пат. 77427 Україна / Л. Г. Фалько, І. М. Заплетніков, О. Л. Фалько. Бюл. № 12. 2006.
5. Спосіб зниження частоти коливального процесу : пат. 37270 Україна / В. П. Шамота, О. Л. Фалько. Бюл. № 22. 2008.
6. Иориш Ю. И. Виброметрия. М. : Машгиз, 1963. С. 84–110.

REFERENCES:

1. Spivakovskiy A. O., Honcharevych Y. F. Vybratsyonnye konveieri, pytateli y
374

vspomohatelnye ustroystva. M. : Mashynostroeny, 1972. **2.** Blekhman Y. Y., Dzhanelydze H. Yu. Vybratsyonnoe peremeshchenye. M. : Nauka, 1964. 412 s. **3.** Sposib znyzhennia chastoty kolyvan : pat. 70727 Ukraina / O. L. Falko. Biul. № 10. 2004. **4.** Sposib znyzhennia chastoty kolyvalnoho protsesu : pat. 77427 Ukraina / L. H. Falko, I. M. Zapletnikov, O. L. Falko. Biul. № 12. 2006. **5.** Sposib znyzhennia chastoty kolyvalnoho protsesu : pat. 37270 Ukraina / V. P. Shamota, O. L. Falko. Biul. № 22. 2008. **6.** Yorysh Yu. Y. Vybrometryia. M. : Mashhyz, 1963. S. 84–110.

Falko O. L., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor
(Technical College of the National University of Water and
Environmental Engineering, Rivne, o.l.falko@nuwm.edu.ua)

MODERNIZATION OF THE PRINCIPLE OF VIBRATING MACHINES USING AN ELECTROMAGNETIC VIBRATOR

Light single-mass vibrating machines with an electromagnetic drive are widely used in the chemical and food industries and in many other industries: small vibrating conveyors, vibrating hoppers, dispensers, etc. In some cases, the scope of use of these devices is limited due to too high a frequency of oscillations and too little amplitude. This work substantiates a new principle of operation of vibrating machines with an electromagnetic drive (when using a one-stroke electromagnetic vibrator), which allows to increase the amplitude and reduce the frequency of oscillations of the working bodies of the vibrating machines without changing the standard frequency of the current in the electrical network. This provides an opportunity to expand the scope of use of vibration machines with such drives, since electromagnetic drives are the cheapest, durable and economical.

Therefore, increasing the amplitude and decreasing the frequency of the oscillatory process of the working body of vibrating machines with an electromagnetic drive is an urgent scientific problem. With its solution, it is possible to spread the use of an electromagnetic drive for many technological processes of vibration transportation and sorting in many industries, which will contribute to the reduction of energy consumption and construction materials.

The purpose of the research is to substantiate the new principle

of operation of vibrating machines with an electromagnetic drive. This method allows, without changing the standard frequency of electric current in the network, to reduce the frequency of oscillations of the working body of the vibrating machine with an electromagnetic drive by 4 times and, almost accordingly, to increase the amplitude of oscillations of the working body.

The proposed method of reducing the frequency of the oscillating process is carried out as follows. The generator of oscillations is a single-cycle electromagnetic vibrator with minor changes in design. A semi-periodic current directed through the diode with a standard frequency $\nu = 50$ Hz is applied to the stator of the vibrator.

The vibrator anchor is configured to carry out its own mechanical oscillations with a frequency half as low, namely 25 Hz. The support of the armature's own mechanical oscillations by the magnetic force is carried out in each period of the armature's oscillations in the position closest to the stator. And in the farthest positions of the armature from the stator, with increased armature amplitude, the action of the magnetic force is almost absent. Thus, a significant influence on the elastic oscillating system of the armature is exerted by force magnetic pulses, which alternate through one period of oscillations of the directed semi-periodic electric current at the moments when the armature passes the extreme position closest to the stator. Note that for a standard electromagnetic vibrator, armature oscillations are supported by the electromagnetic force from the stator throughout the oscillation period, and the frequency of mechanical oscillations of the armature is calculated for the standard current frequency.

The anchor and the working body are separate elastic oscillating systems, each of which performs mechanical oscillations with its own frequency. The cause of oscillations for the working body is the periodic shock action of the anchor at the moments of the closest position of the anchor to the working body, when the anchor is in its closest position to the working body relative to its own static equilibrium position, and the working body is in its closest position to the anchor relative to the position of its own static equilibrium. The frequency of its own mechanical oscillations of the working body is set to 12.5 Hz due to the ratio of its oscillating mass and the stiffness coefficient of its springs.

***Keywords:* electromagnetic drive; vibration machine; vibrator.**