

ВІБРАЦІЙНІ МАШИНИ ТА ВІБРОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.01:621-868

О.С. ЛАНЕЦЬ

Національний університет “Львівська політехніка”

РОЗВИТОК МІЖРЕЗОНАНСНИХ МАШИН З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

Ї Ланець О.С., 2008

У статті, починаючи з перших задокументованих згадок про застосування вібротехнологій у промисловості та сільському господарстві, наведено історію зародження міжрезонансних вібраційних машин з електромагнітним приводом. Згадані провідні вчені та інженери, котрі займалися їхнім дослідженням. Наводиться більше 60 патентних джерел, пов'язаних з віброобладнанням.

In the article, beginning from the first documentary mentions about application of vibratory technologies in industry and agriculture, history of origin inter-resonances vibratory machines of with an electromagnetic occasion is pointed. Leading scientists and engineers which was engaged in these questions are remembered. More than 60 patent sources, related to the vibratory equipment, are pointed.

Вступ. Коливальні (вібраційні) процеси є природними та закономірними явищами, що нерозривно пов'язані з побутом людини. З давніх-давен людство почало використовувати їх у своїй діяльності. Багато з тих перших паростків технологій, що зароджені в давнину, і тепер можна зустріти уже на значно вищому технічному та технологічному рівні. Заміну сьогодні цим передовим технологіям на основі коливальних процесів знайти важко, а часто і неможливо, що пов'язано з простотою їх реалізації, низькою собівартістю та високою ефективністю.

На підсвідомому рівні людина використовувала коливальні та віброударні процеси, часто не замислюючись над самою фізикою процесу. Для того, щоб ефективно подавати сипкий продукт, сепарувати його, інтенсифікувати перебіг різноманітних біологічних процесів, пришвидшувати просушування сирого матеріалу, ущільнювати та утрамбовувати в'язку суміш тощо, знаряддю праці надавали коливального або віброударного руху. Ці здобуті знання дали змогу реалізовувати елементарні технологічні операції: просіювати зерно за рахунок вібрації сита; отримувати масло наданням коливального руху посудині зі сметаною; пришвидшувати просушування сіна, періодичним його підкиданням, інтенсифікуючи повітряні потоки, що проходять через нього; ущільнювати ґрунт, стіни будівель, вибивати матеріал з форм віброударним способом. Навіть той же процес добування та обробки кам'яних порід, можна зарахувати до віброударного. Безумовно це все була ручна праця, часто доволі важкою і монотонною. Щоб перекласти цю роботу на машини, повинен був минути тривалий час, коли появляться перші самопривідні механізми.

З появою водяних та вітрових млинів, людство почало механізувати деякі технологічні операції, до яких зараховуємо і ті, що пов'язані з коливальними процесами. Так, подавання та дозування зерна в жорна для помолу здійснювали вібраційним способом. Жолобок, по якому рухалось зерно, контактував з нерівною поверхнею жорен. Обертаючись, жорна передавали

вимушені коливання на похилий жолобок, який, вібруючи, дозував і подавав зерна. З часом механізували і просіювання, сушіння. Цей, здавалось, незначний приклад підтверджує те, що в ті часи уже з'являлись вібраційні механізми, які, на погляд автора, сміливо можна зарахувати до перших найпримітивніших вібраційних машин.

З появою парових машин технічний розвиток почав різко розвиватися. Винайдення електромагнетизму, поява електродвигунів, двигунів внутрішнього згорання, розвиток механіки, загалом, все це дало величезні можливості та значний поштовх для творення різноманітного технологічного обладнання, здатного замінити важку фізичну та монотонну працю робітників. Створюючи нове технологічне обладнання, науковці та інженери не забували про коливальні процеси та явища, використовуючи які, можна легко виконати різноманітні технологічні операції зі значним економічним ефектом. Так, важка фізична праця шахтарів, робітників у копальнях, частково полегшена введенням вібромолотів; віброударні механізми для формування поковки істотно спростили роботу ковалям; вібросепаратори та вібросушарки покращили умови праці селянам та працівникам харчової промисловості; вібротранспортери та вібробункери усунули людину від монотонної роботи на технологічних операціях поштучного подавання заготовок, а вібраційні машини об'ємної обробки – на операціях поштучної обробки деталей.

Початок промислового використання вібраційних технологій. Одна з перших згадок про вібраційні машини міститься в журналі “The London Journal of Arts, Sciences and Manufactures, and Repertory of Patent Inventions // Conducted by Mr. W. Newton. – London, 1849. – Vol. XXXIV” без конкретних посилань на авторів. За даними, отриманими з цього джерела, можна лише констатувати факт, що у той час уже діяли зразки перших вібраційних машин. Ширший та докладніший аналіз розробок в галузі вібротехнологій виконаємо, користуючись Європейською мережею баз даних патентів [1]. Власне такий аналіз забезпечує достовірну картину розвитку вібраційної техніки, а найголовніше – чітко вказує авторів, котрі безпосередньо займалися цими винаходами.

У першоджерел створення класу вібраційних машин та технологій, наскільки це відповідає якості виконаного патентного пошуку, зустрічається патент № 19399 (DE) “Maschine zum Trocknen von Neu, Klee u. dergl.” від 1882 р., де німецька компанія Jacob & Becker патентує машину для висушування сіна та конюшини. Для безперервного подавання матеріалу транспортуючому органу 1 через шатун 2 надається коливальний рух від ексцентрика 3 (рис. 1). На думку представників компанії, такий рух сприяє розрихлюванню матеріалу, а тепле повітря, проходячи крізь нього, забезпечує швидке висихання продукту.

Того самого року німець М. Еппле, згідно з патентом № 19538 (DE) “Neuerungen an Dreschmaschinen”, використовує коливальний рух у молотарках. Швейцарець Arnold Munzinger в патенті № 28979 (DE) “Schachttrockenapparat für Holzstoff u. dergl.” від 1884 р., аналогічно до патенту № 19399, удосконалює шахту просушування сирого матеріалу, використовуючи при цьому ексцентрики для збурення вібрації в транспортуючих лотках. Як бачимо, сучасна вібротехнологія бере свій початок із прикладних розробок у сільському господарстві та з ним пов'язаної переробної промисловості, і, по суті, вперше задіяна там, де людство почало використовувати коливальні процеси на початку свого технологічного розвитку. Першість у широкому застосуванні вібротехнологій належить представникам Німеччини, які і надалі займатимуть передові позиції в проектуванні високотехнологічного вібраційного обладнання.

У 1893 р. британський інженер із Лондона, William W. Beaumont подає заявку на патент “Improvements in Thrashing and Winnowing and Dressing Machines” (№ 13,866 (GB)), де він удосконалює вібраційну технологічну машину, в якій реалізуються коливання за допомогою ексцентрика, або ж кулачка. У тому самому патенті William W. Beaumont посилається на свій попередній винахід № 9953 (GB), що заявлений 1892 р., в якому патентує один з видів вібраційних

приводів, найшвидше дебалансний. На жаль, згаданий документ не вдалось відшукати. У своєму наступному патенті № 20,148 (GB) “Obtaining- and Preventing Reciprocating, Vibratory, and Gyrotory Motion”, що заявлений в 1893 р., знову ж, посилаючись на патент № 9953 (GB), він пропонує механізми для надання вібрації за допомогою дебалансів. Для створення лише вертикальних або горизонтальних коливань автор пропонує так звані подвійні (спарені) дебаланси.

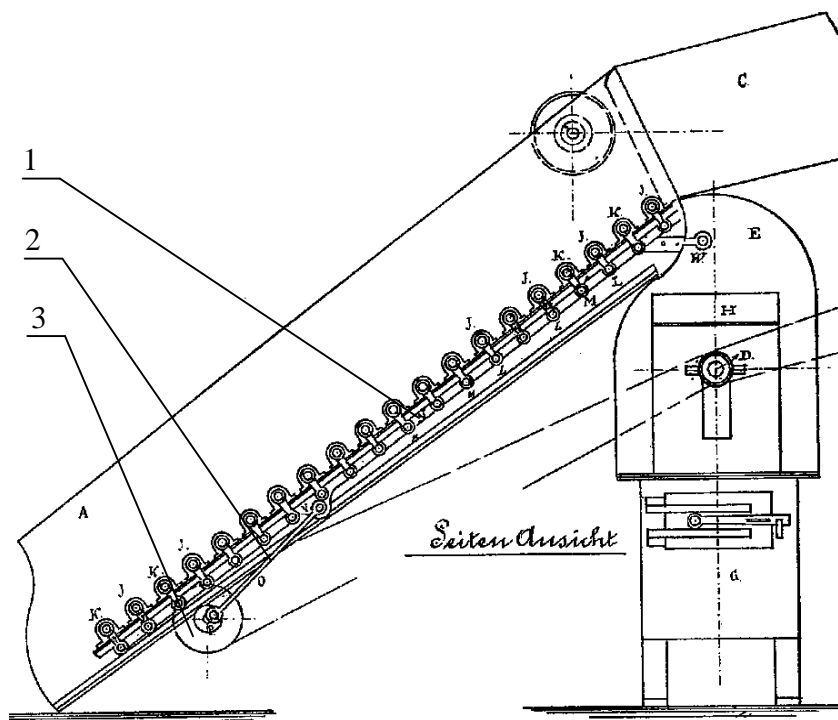


Рис. 1. Установа для просушування матеріалу

Англієць John Laidlaw у патенті № 5389 (GB) “Improvements in Conveyers for Conveying: Granular and such like Material” від 1894 р. патентує вібраційний конвеєр для транспортування гранульованого матеріалу, типу вугілля, з (на) сепаратори, дробарки тощо.

Згідно з патентом № 8081 (GB) “Improvements in Kilns for Drying Grain and other Material” (заявка від 1897 р.) директор і менеджер громадської компанії з передмістя Лондона Ernest S. Spencer для пивоварної промисловості вдосконалює піч просушування зерна й іншого продукту з багаторушним розташуванням лотків, що приводяться в рух за допомогою ексцентрика. Подібну розробку уже було описано в патенті № 19399 (DE).

Інженер із Парижа Pierre Lejeune в 1898 р. (GB) подає патент “Improved Apparatus for Sorting or Separating Pulverulent or Granular Substances, more particularly applicable for Extracting: Gold from Auriferous Earths and the like”, де він вдосконалює машину для сортування, сепарування або гранулювання золотоносної руди на золотих копальнях із дефіцитом води. Згідно з винаходом, для того, щоб ефективно працювати з сухою рудою, пропонується надавати вібраційного руху робочому органу за допомогою ексцентрика.

У патенті № 7046 (GB) “An Improvement in or relating to Sieve Changing: Arrangements in Purifiers, Vibrating Sieves, Screens, and the like”, заявленому в 1899 р., британець Thomas W. Freeman вдосконалює конструкцію вібраційних сепараторів.

Англієць Alfeed G. Buookes та німці Dr. F. Lorenz та Dr. J. Lutjens у патенті № 10.204 (GB) “A New or Improved Process and Apparatus for Drying, Cooling, and Feeding or Conveying Superphosphate and other

Materials” від 1899 р. патентують установку для просушування суперфосфатів, що виходять з гарячих печей, для чого використовують вібраційний спосіб подавання гранульованого матеріалу.

Британець George Kelsey в 1900 р. у патенті № 6355 (GB) “Improvements relating to the Biddies or Sieves of Chaffcutting Machinery” вдосконалює підвіску вібраційних сит з метою зменшення шуму, зношування, збільшення довговічності установки.

Американець George Porter в своєму патенті № 9408 (GB) “Apparatus for Removing Surplus Metal from Coated Articles”, заявленому в 1900 р., застосовує вібрацію для подавання оцинкованих цвяхів на позицію та з позиції зняття напливу з них.

Англієць George H. Junior в патенті № 13,689 (GB) “Improvements in Apparatus for Cleaning Dried Fruits”, заявленому в 1901 р., вдосконалює машину для відділення ніжок висушених плодоягід, не ушкоджуючи їх. Для цього винахідник використовує вібраційний спосіб транспортування по лотках з приводом від ексцентрика.

Канадці William J. Hammill і Abraham Groves M. D. в своєму патенті № 19,582 (GB) “Improvements in Fanning and Screening Apparatus for Grain and the like” від 1901 р. удосконалюють сепаратор для просушування зерна із застосуванням вібрації.

Інженер з Лондона George F. Zimmer в патенті № 16,073 (GB) “Improvements in and connected with Conveyors”, заявленому в 1904 р., вдосконалює вібраційні конвеєри з ексцентриковим приводом для транспортування вугілля, руди або іншого матеріалу (рис. 2). Цікавим фактом є те, що розглядаються тримасові конструкції з кінематичним збуренням. Привід ексцентрика жорстко кріпився до основи 3 (реактивної маси). Через шатун 7 від ексцентрика 6 збурювалась проміжна маса 2, яка кріпилась до основи через пружну систему 5. Робочий орган 1 кінематично збурювався через пружну систему 4. Недоліком цієї конструкції є те, що вона не віброізована, хоча, якщо встановити усю конструкцію транспортера через віброізолятори на основу, ми досягнемо віброізоляції.

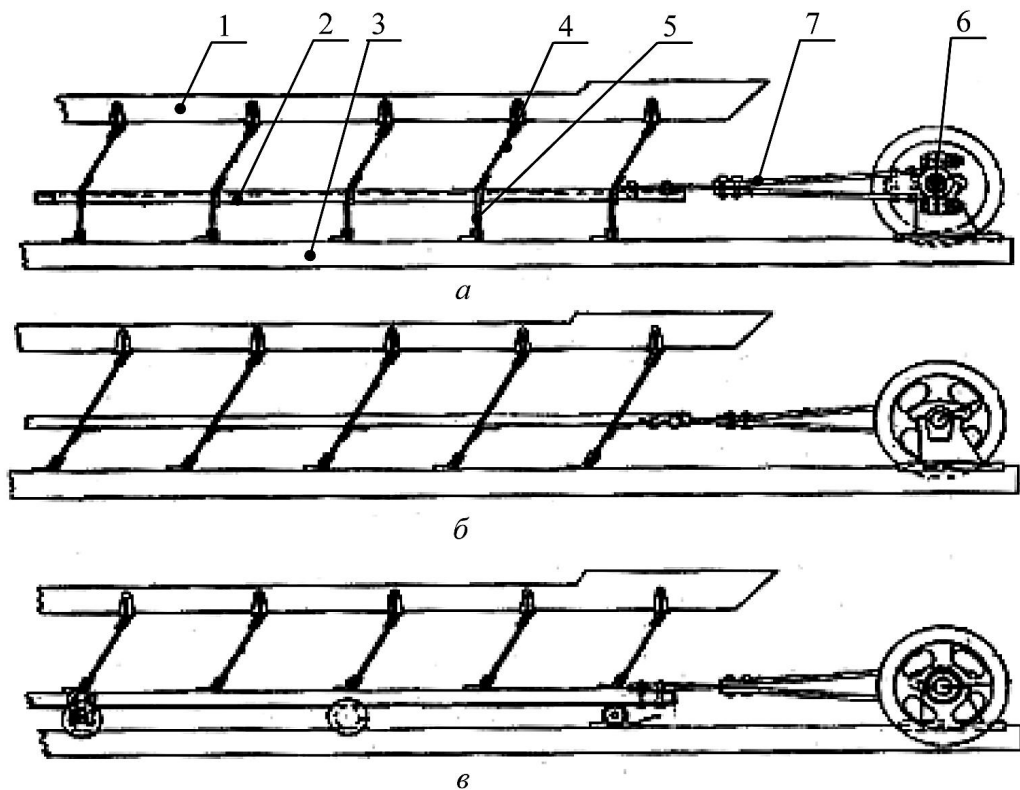


Рис. 1.2. Тримасовий вібраційний транспортер

Німець Hermann Penther у заявленому в 1904 р. патенті № 18,651 (GB) “An Improved Apparatus for Separating Vulcanised Rubber from Canvas, Metal or other Coverings or the Like connected to it” вдосконалює сепаратор для відділення вулканізованого каучука від іншого матеріалу. Одним із вдосконалень – використання вібраційного руху лотка для розділення продукту.

Американець Willand J. Bell, інженер-механік, у заявленому в 1904 р. патенті № 23,755 (GB) “Improvements in Vibrating Screens” удосконалює вібраційний сепаратор для розділення гравію або подібного йому матеріалу. Попередньо цей винахід було запатентовано в США із датою подання заявки від 1901 р.

Інженер, англієць Augustus J. Simpson, у поданому в 1905 р. патенті № 4942 (GB) “Improvements in or relating to Apparatus for Distributing Artificial Manures, Fertilizers and other Materials such as Sand, Soot, Lime and the like” удосконалює машину для розкиду штучних добрив, піску, сажі тощо на сільськогосподарських угіддях. Для рівномірного дозування він пропонує використовувати віброуючий лоток з приводом від ексцентрика, що своєю чергою приводиться в обертальний рух механічною передачею від кочення коліс. Ще один інженер, англієць, Oliver Sheppard, згідно з патентом № 5251 (GB) “Improvements in Jigging or Sizing Screens” від 1906 р. удосконалює вібраційний сепаратор із приводом від ексцентрика.

Можна виділити такі патенти, в яких удосконалювали ті чи інші машини різноманітного призначення, де збурення вібрації лотків відбувалось від ексцентрика:

патент інженера, англійця Harry Bentley № 2037 “Improvements in and relating to Conveyors”, дата заявки 1907 р., де удосконалюються вузли великогабаритного конвеєра для транспортування руди, вугілля тощо;

патент англійця Philip M. Justice з американцем Holland S. Duell № 28,365 (GB) “Improvements in Ore Concentrators”, дата заявки 1908 р. та патент інженера, англійця Jacob Cohn № 3821 (GB) “Improved Apparatus for Separating Kernels from Broken Nut Shells And the like, also applicable for other purposes”, дата заявки 1909 р., де удосконалюються вібраційні сепаратори;

патент гірничого інженера, англійця George S. Bragge № 12,360 (GB) “A New or Improved Machine or Apparatus for Distributing Dust in Coal Mines and other Places”, дата заявки 1910 р., де застосовується вібраційне подавання продукту;

патент інженера, англійця Thomas C. Stewart № 23,160 (GB) “A Flax Straw Preparing Machine”, дата заявки 1910 р., де застосовується вібрація у формуванні рівних снопів льону для подальшої їх технологічної переробки;

патент американця Henry Richardson № 25,719 (GB) “Improvements in Automatic Feed Weighers”, дата заявки 1910 р., де удосконалюється вібраційна установка для дозування та зважування продукту;

патент інженера електротехніка, швейцарця Otto Gamper № 28,233 (GB) “Improvements in or relating to Apparatus for Facilitating the Packing of Magnetic Material”, дата заявки 1912 р., де удосконалюється вібраційна установка для упаковки продукту з магнітного матеріалу. Попередньо цей патент був заявлений у Німеччині в 1907 р.

патент англійця Joseph J. Ritchie № 1255 (GB) “Improved Winnowing Machine”, дата заявки 1913 р., де вдосконалюється вібраційна машина для просіювання продукту;

патент інженера з Німеччини Jakob Kraus № 11,852 (GB) “Improvements in or relating to Electrostatic Apparatus for Separating and Cleaning Grits, Grain, Seeds or the like” заявленого в 1913 р., де автор удосконалює вібраційний сепаратор для просіювання зерна;

патент швейцарця Wilhelm Sander № 3558 (GB) “Improvements in or relating to Massage-apparatus”, що заявлений в 1915 р., у якому вдосконалюється механізм вібромасажера;

патент англійця Roger Gittins № 107,066 (GB) “Improvements in Boot Harvesting Machines”, заявленого в 1916 р., де автор удосконалює сільськогосподарську овочезбиральну машину, в якій використовуються вібрації для полегшення перебігу технологічного процесу;

патент італійця Ubaldo A. Grimaldi № 112,088 (GB) “Apparatus for Imparting to Paper or other Material the Appearance of “Florentine” Velvet”, заявленого в 1917 р., де засобами вібротехніки удосконалюється установка для виготовлення паперу та тканин;

патент американця Willand J. Bell № 120,628 (GB) “Improvements in or relating to Screening or Sifting Devices”, заявленого в 1917 р., де автор удосконалює сепаратор для розділення щебеню або іншого аналогічного продукту;

патент газового інженера, англійця Arthur Mead № 120,813 (GB) “Improvements in Furnaces for Heating Rods, Bars and the like”, заявленого в 1917 р., де удосконалюється установка для розвантаження газових печей, введенням вібраційних конвеєрів.

З цього, безумовно не повного переліку, можна з впевненістю констатувати той факт, що вібротехнології уже на той час охопили практично усі галузі промисловостей. Це вкотре доводить їх унікальність та незамінність на багатьох технологічних операціях.

Поява вібраційних машин з електромагнітним приводом. Вищеперераховані патенти описували віброобладнання переважно з ексцентриковим приводом, що містить рухомі з’єднання. З огляду на це механізми приводу часто виходили з ладу, а отже, були недовговічними. У цьому контексті патент американця Morley P. Reynolds № 123,109 (GB) “Improvements in Screening Devices”, що заявлений в 1917 р. (опублікований в 1919 р.), дає можливість усунути рухомі з’єднання в механізмах приводу віброобладнання (рис. 3).

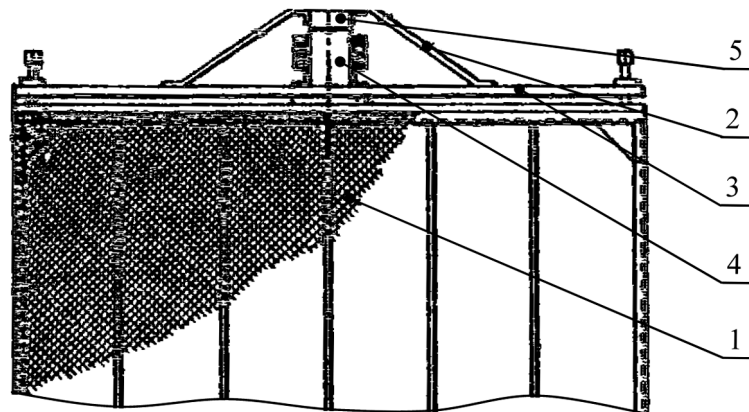


Рис. 3. Сепаратор з електромагнітним приводом

У своєму патенті автор винаходу удосконалює сепаратор, де вперше для технологічного обладнання (згідно з патентним пошуком) застосовує електромагнітний віброзбудник для надання коливального руху сити. МКС сепаратора побудована за двомасовою схемою. Сито 1 утворює робочу масу, що через пружну балку 3 з’єднана з реактивною масою 2. До робочої маси кріпиться осердя з котушками 4, а до реактивної – якір 5 електромагнітного віброзбудника.

Однак використання електромагнітного приводу в віброобладнанні на той час було поодиноким. Тільки через 10 років, в 1927 р. британець Joseph W. Sherwen подає заявку на винахід під номером 296,742 (GB) “Improved Electromagnetic Means for Vibrating or Reciprocating the Spring Balanced or Supported Tables, Screens, Trays or the like of Concentrating, Sifting, Conveying, Moulding and similar Apparatus” (дата публікації 1928 р.), де він застосовує електромагнітний привід для надання коливального руху вібраційному лотку (рис. 4).

Ця конструкція двомасова, з яскраво вираженою резонансною пружною системою 3. Відразу ж зауважимо, що функцію другої маси виконує основа 2, жорстко з’єднана з фундаментом. Транспортуючий лоток 1 з’єднаний з електромагнітним віброзбудником 4 через штовхач 6, до якого

своєю чергою кріпиться резонансна пружна система 3, зв'язана з основою. Лоток утримується на основі 2 за допомогою похилих нерезонансних пружних елементів 5, які і забезпечують його напрямлений рух під кутом.

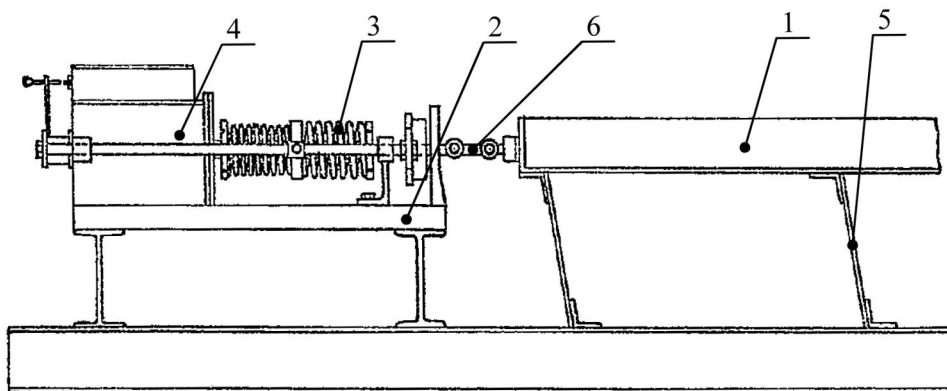


Рис. 1.4. Вібраційний транспортер з електромагнітним приводом

Надалі особливо відомих розробок у цьому напрямку не виконували, що насамперед зумовлено відсутністю нагальної потреби на цю продукцію, з одного боку, та неповнотою вивчення її переваг, з іншого.

І знову, зі значною перервою, в 1935 р. подається заявка на винахід № 2,098,034 (US) “Vibratory Feeder” (опублікований в 1937 р.) американського винахідника James A. Flint, працівника компанії, що спеціалізувалась з виготовлення віброобладнання Traylor Vibrator Company. Згідно з винаходом пропонується резонансний двомасовий вібраційний живильник з електромагнітним приводом для рівномірного та безперервного подавання гранульованого матеріалу на конвеєр. Того ж року Американська компанія American Machine & Foundry Company подає заявку в патентний офіс США, а 1936 р. дублює її в патентному відділі Великої Британії № 478,310 (дата публікації 1938 р.) за назвою “Improvements in and relating to Tobacco Feeding Mechanisms for Cigarette Making Machines”, де пропонує двомасовий вібраційний електромагнітний живильник для подавання тютюну. Інша Американська компанія International Cigar Machinery Company в 1936 р. аналогічно спочатку в США, а потім в 1937 р. у Британії, згідно з патентом № 503,132 “Improvements in and relating to Tobacco Feeding Mechanisms for Cigar Making Machines”, удосконалює двомасовий вібраційний живильник для дозування відходів тютюну (дата публікації 1939 р.). В 1936 р. уже вищезгаданий James A. Flint подає заявку “Vibratory Feeder and Screen”, де патентує в 1941 р. за номером 2,251,586 (US) великогабаритний двомасовий вібраційний живильник (сепаратор), що призначений для подавання та сепарування подрібненої руди, каменю тощо. Необхідно відзначити, що цей сепаратор призначався для роботи зі значним завантаженням, а сам той факт, що для цього використали електромагнітні віброзбудники, доводить високу ефективність останніх.

Згідно з патентом № 504,782 (GB) “Improvements in and relating to Method of and Apparatus for Conveying and Conditioning Materials”, який заявлено в 1937 р., а опубліковано в 1939 р., англієць William W. Triggs разом з американською компанією Traylor Vibrator Company удосконалюють конструкцію двомасового вібраційного конвеєра з електромагнітним приводом, що призначався для транспортування матеріалу за високих температур. Особливо корисним винахід, на погляд авторів, є у виробництві солі, синтетичних пластмас або гранульованих матеріалів, таких, як вугілля. Цей конвеєр належав також до великогабаритних. Як бачимо, на той час уже появляється серія великогабаритних резонансних конструкцій вібраційних машин з електромагнітним приводом. Методики їх розрахунку безумовно були уже успішно апробовані.

Ті ж, англієць William W. Triggs та Американська компанія Traylor Vibrator Company, того самого року подають заявку на винахід за такою ж назвою, де описують уже тримасовий електромагнітний вібраційний конвеєр, що призначався для тих самих цілей (дата публікації 1938 р. № 494,206 (GB)). Можна вважати, що саме цей патент поклав початок тримасовим міжрезонансним вібраційним машинам з електромагнітним приводом.

Перші тримасові (міжрезонансні) вібраційні машини з електромагнітним приводом та їх розвиток сьогодні. Зарубіжні розробки. Перш ніж розглядати тримасові конструкції вібраційних машин необхідно обумовити таке. Тримасові МКС для розв'язання технічних прикладних задач з'явилися дещо раніше, а саме на їх початку почали використовувати для передачі та прийому звукових сигналів в субмаринах. Так, німецька компанія Signal Gesellschaft патентує серію розробок, заявлених спочатку в Німеччині у 1915 р., згодом у Великій Британії в 1920 р. та опублікованих у 1921 р.: “Improvements in Vibrating Apparatus for Sound Signalling” (№ 144,664 (GB)), “Improvements in and relating to Sound Transmitting and Receiving Apparatus” (№ 147,940 (GB)), “Improvements in Subaqueous Sound Producers or Receivers” (№ 147,941 (GB)), “Improvements in Sound-producing or Receiving Devices containing Two or More Vibratory Structures” (№ 148,412 (GB), № 148,414 (GB)) та патент “Improvements in Vibratory Devices for Subaqueous Sound Signalling Apparatus” (дата заявлення в Німеччині 1919 р., у Великій Британії 1920 р., публікація від 1922 р. № 155,569). У цих патентах описуються установки, що повною мірою розкривали можливості тримасових МКС, дозволяючи використовувати міжрезонансні режими. Для збурення коливань використовувались електромагнітні віброзбудники.

Згідно з останнім згаданим в попередньому пункті патента № 494,206 (GB) від 1938 р., можна вважати, що тримасові МКС, як вібраційне технологічне обладнання (рис. 5), появились в кінці 40-х років минулого століття в США. Ця конструкція – великогабаритна. Режим роботи самої машини – міжрезонансний. Як робоча маса виступає проміжна 2, до якої кріпляться якорі електромагнітних віброзбудників 7. Резонансні плоскі пружні елементи 5 з'єднують проміжну масу з реактивною 3, що являє собою осердя з котушками 6. Через похилі пружні елементи 4 проміжна маса опирається на раму – активну масу 1, що кінематично збуджується від проміжної. Уся конструкція через віброізолятори, що кріпляться до активної маси, встановлюється на фундамент. Збурення коливань від електромагнітного віброзбудника безпосередньо подається на проміжну та реактивну маси. Судячи з запропонованої автором МКС, можна зробити висновок, що на той час уже почали усвідомлювати переваги багатомасових конструкцій, які передусім пов'язані з їхніми набагато кращими амплітудно-частотними характеристиками (АЧХ) в міжрезонансному режимі.

Наступну конструкцію, яку хотілось би виділити, це вібромашина, що описана в патенті від 1944 р. № 2,353,492 (US) “Vibration Producing Mechanism” (поданого в 1942 р.). Автор John C. O'Connor пропонує тримасову конструкцію вібраційної машини для ущільнення бетоноsumішей, ґрунту тощо. У цьому випадку, робочим органом виступала маса, що кінематично збурювалась.

У 1952 р. виходить патент № 664,720 (GB) (подано в 1949 р.) “Improvements in or relating to Electro-Magnetic Vibrating Equipment”, де англійська компанія General Electric Company Limited і винахідник Joseph W. Sherwen з Eraser & Chalmers Engineering Works пропонують електромагнітне вібраційне обладнання для ущільнення різноманітного продукту, його сепарації тощо. Робочим органом виступає проміжна маса. У розвиток цього патента в 1953 р. подається аналогічний патент № 745,518 (GB) за тою самою назвою (дата друку 1956 р.).

Надалі істотних розробок у цьому напрямку не було помічено. Тільки в 1968 р. Британська компанія Driver Southall Limited подає заявку “Improvements in Vibratory Feeders”, де пропонується тримасовий вібраційний бункерний живильник з електромагнітним приводом, робочим органом якого є активна кінематично збурювана маса (дата публікації 1971 р. № 1 256 225 (GB)).

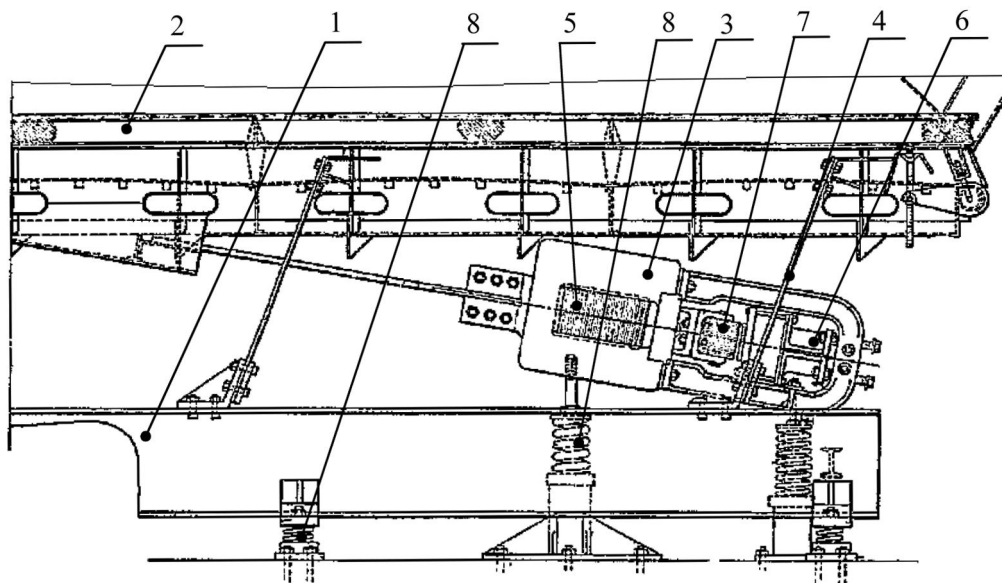


Рис. 1.5. Тримасовий вібраційний транспортер з електромагнітним приводом

Представник Німеччини Gulertan Vural в 1973 р. подає заявку “Vibratory Compacting Machine”, де пропонує тримасові конструкції для утрамбування ґрунту (дата публікації 1975 р. № 3,909,148 (US), попередньо запатентований в Німеччині в 1972 р. № 2231023 (DE)).

Винахідник Franklin C. Peryu в патенті № 4,117,381 (US) від 1978 р. “Vibrator” пропонує раціональну конструкцію тримасового електромагнітного віброзбудника (дата подачі 1977 р.).

Хотілось би виділити патент William R. Brown № 4,378,064 (US) від 1983 р. “Three Mass Electromagnetic Feeder” (дата подачі 1980 р.), де наводиться підбір параметрів тримасової МКС за парціальними частотами (рис. 6).

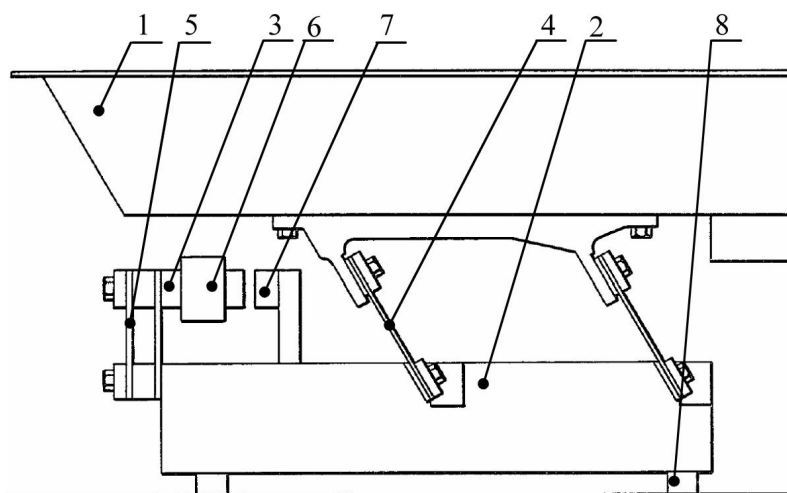


Рис.1.6. Тримасовий вібраційний живильник з електромагнітним приводом

Особливістю цього підбору параметрів є те, що він передбачає синфазний рух у силовому збудженні якоря та осердя з котушкою електромагнітного віброзбудника. Це забезпечує значне підвищення ККД приводу. Недоліком методики є відсутність конкретних аналітичних виразів для підбору інерційних параметрів та чіткого співвідношення жорсткостей пружних елементів. Однак

цей підхід містить у собі високий потенціал і є надзвичайно перспективним. Конкретніше цю методика підбору параметрів буде розглянуто нижче.

Конструкція запатентованого вібраційного живильника складається з робочої активної маси 1, що через похилі пружні елементи 4 з'єднана з проміжною 2, до якої своєю чергою через плоскі пружні елементи 5 кріпиться реактивна маса 3. Якір 7 та осердя з котушкою 6 електромагнітного віброзбудника відповідно кріпляться до проміжної та реактивної мас. Уся конструкція через віброізолятори 8 встановлюється на фундамент.

Японці Mikata Yoshitaka і Higuchi Tadashi у патенті № 0 349 693 A2 (EU) від 1990 р. (дата подачі 1988 р.) “Two trough, electromagnetically vibratory feeder” пропонують тримасові лотки, де кінематично збуджувана маса виконує функцію динамічного гасника. Аналогічна ідея є і у винаході Mikata Yoshitaka і Higuchi Sunao під номером № 63-282615 (JP, 1988 р.) “Electromagnetic Vibration Conveyance Feeder for Combination Balance or the Like”. Однак, заради істини, необхідно відзначити, що такі принципи побудови були відомі раніше і нині успішно використовуються в промисловості [2–3].

Згідно з патентом № 2 238 841 A (GB) від 1990 р. (дата подачі 1989 р.) “Linear vibratory conveyor” винахідник Albert R. Probert удосконалює конструкції тримасових транспортерів і наводить різноманітні принципові схеми.

Для транспортування вугілля американський винахідник Thomas H. Falconer пропонує тримасовий живильник № 4,961,491 (US) від 1990 р. (дата подачі 1989 р.) “Three Mass Vibratory Feeder”, де робочим органом виступає реактивна маса.

Представник Ізраїлю Boaz Popper у своєму патенті № 5,144,176 (US) від 1992 р. (дата подачі 1990 р.) “Three-Mass Electromagnetic Vibrating System” пропонує раціональний підбір параметрів тримасової установки.

З останніх патентів, які вдалось відшукати, це перспективний патент американської корпорації General Kinematics Corporation та самого винахідника Richard B. Kraus № 2 518 736 A1 (CA) від 2006 р. “Linear Drive for Vibratory Apparatus”, де вони пропонують раціональну конструкцію тримасової віброустановки (рис. 7). Робоча маса 1 з'єднана з проміжною 2 похилими плоскими пружними елементами 4, а з реактивною масою 3 витими пружинами 5. Збурення коливань відбувається від гідро-, або пневмоприводу, встановленого на реактивній масі. Уся конструкція через віброізолятори 7, що кріпляться до проміжної маси, встановлюється на основу. Аналогічний патент зареєстровано в європейському патентному бюро під номером 1 437 313 A1 від 2004 р.

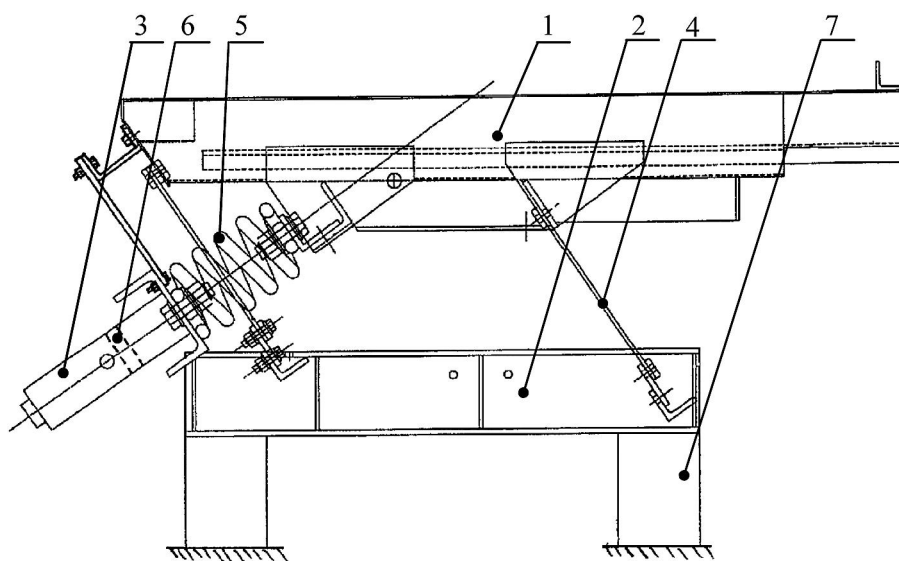


Рис. 7. Тримасовий вібраційний транспортер

Хоча конструкція тримасового вібраційного транспортера не з електромагнітним приводом, однак вона цікава тим, що маса, яка безпосередньо збудовує коливання не має пружного зв'язку. Так, поршень 6, що може вільно рухатись вздовж своєї осі приводиться в рух за рахунок пульсацій повітря. Інерційні сили, що виникають, передаються через пружну систему 5 на активну масу 1, де уже МКС входить в резонанс, як тримасова конструкція. Подібне явище буде детально описано в майбутньому матеріалі і отримає назву ефекту “нульової жорсткості”

Серед зарубіжних фірм, що займаються тою чи іншою мірою розробкою вібраційних машин з електромагнітним приводом можна відзначити такі, як: “Roto-Finish”, “Valter”, “Lord Chemical”, “Trowal”, “Wibral”, “Jeffrey Specialty Equipment Corporation”, “Alan Ross Machinery”, “B.E.S.T. Inc.”, “V.T.R. Inc.”, “JVI”, “Ward Industrial Equipment Ltd”, “Vibro Techniques”, “OEPL”, “Autofeed Corporation”, “Carrier Vibrating Equipment, Inc.”, “General Kinematics”, “Vimec”.

Вітчизняні розробки. Зважаючи на те, що в період встановлення вібраційних технологій Україна перебувала в складі Радянського Союзу, огляд розробок виконуватимемо, враховуючи історичні обставини.

До розробки теоретичних основ побудови вібраційних машин у Радянському Союзі, згодом на пост-радянському просторі та сучасній Україні причетні такі видатні науковці та провідні інженери, як І.І. Артоболевський, І.С. Афтаназів, А.П. Бабічев, П.С.Берник, І.І. Блехман, І.І. Биховський, А.Е. Бурштейн, Ю.Д. Васильєв, І.Ф. Гончаревич, Г.Ю. Джанелідзе, Н.І. Камишний, Б.І. Крюков, Э.Э. Лавендел, Л.Б. Левенсон, Л.П. Левін, Д.Д. Малкін, І.І. Назаренко, А.Н. Рабінович, А.О. Співаковський, Я.Г. Пановко., М.М. Перець, В.О. Повідайло, В.Н. Потураєв, Л.Л. Постніков, К.М. Рагульскіс, Ю.М. Самодумський, Р.І.Сілін, А.П. Субач, А.О. Співаковський, Л.Б. Стрельников, М.М. Тедошвілі, В.Б. Труніним, В.П. Устінов, В.Н. Франчук, А.Г. Червоненко, М.П. Ярошевич, М.В. Медвідь, А.І. Москвітін, М.В. Хвінгвія, М.Є. Шаїнський, К.В. Фролов та ін.

До кінця 50-х років передовими в галузі вібротехніки були представники Західної Європи та Північної Америки, де по-суті і зароджувався цей напрямок. З часом, за деякими розробками вітчизняні науковці уже випереджали своїх зарубіжних колег. До одних з таких напрямків можна зарахувати роботи в створенні віброобладнання на основі електромагнітного приводу.

Першою установкою на основі електромагнітного приводу була завантажувальна вібромашина, експериментальний зразок якої виготовлений під керівництвом д. т. н. А.Г. Фролова в 1940 р. [4]. Перші ж відомості про промислові конструкції машин з електромагнітним приводом, якими були бункерні живильники та транспортери, в Радянському Союзі з'явилися лише у 50-х роках. Це були конструкції, розроблені у Львівському політехнічному інституті та МВТУ ім. Баумана [3].

У зародженні багатомасових вібраційних машин з електромагнітним приводом та їх подальшому розвитку у Радянському Союзі значний наробок зробили такі видатні вчені та провідні інженери, як І.Ф. Гончаревич, Л.П. Левін, Г.Б. Букати, Б.І. Крюков, В.О. Повідайло, В.М. Потураєв, В.П. Надутий, І.І. Назаренко, Л.П. Стрельников, В.П. Франчук, П.А. Сергеев та ін. Наукові роботи у створенні багатомасових великогабаритних установок з електромагнітним приводом інтенсивно почали виконувати у післявоєнні роки. Причина цьому така. Тоді виникли сприятливі умови щодо створення та впровадження у виробництво сміливих дослідних зразків віброобладнання. Промисловість країни потребувала високоефективного обладнання. Велика кількість НДІ, СКБ та ВНЗ почала виконувати дослідження в цьому напрямку, в пошуках кращого обладнання та технології. По суті, цим дослідженням було надано державну підтримку. Такий підхід здебільшого приносив нові впровадження у виробництві, аналогів яких у світі не було. Ще в 1948 р. зустрічається патент Л. П.Левіна № 86181 (SU) “Вибрационная машина”, представника колишнього Всесоюзного науково-дослідного інституту механічної обробки корисних копалин (тепер ВАТ “Механобр-техніка”, м. Санкт-Петербург, Росія), що удосконалював конструкцію тримасової МКС (рис. 8).

Силове збудження проміжної 2 та реактивної 3 мас відбувається від електромагнітного віброзбудника 6. Робочий орган – активна маса 1 через пружні елементи 4 та 5 кінематично збуджується від мас 2 та 3. Це були одні з перших міжрезонансних вібраційних машин з електро-

магнітним приводом в Радянському Союзі [6]. Їх практичне призначення – великогабаритні грохоти для подавання руди, збагаченого продукту, розвантаження агломераційних машин тощо, на великих металургійних та збагачувальних підприємствах. Наявність електромагнітного віброзбудника в таких великогабаритних вібраційних машинах, маса яких могла сягати кілька тонн, свідчить про виробничу доцільність їх застосування. Відсутність рухомих з'єднань робило ці машини високонадійними, а використання резонансних явищ – порівняно енергоощадними.

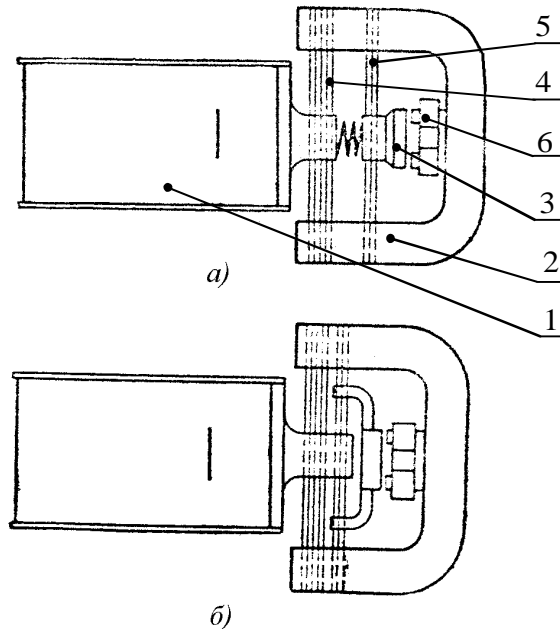


Рис. 8. Принципові схеми тримасових вібраційних живильників

У розробці силових міжрезонансних вібраційних машин на основі електромагнітного приводу лідируючі позиції займав ВАТ “Механобр-техніка” (м. Санкт-Петербург) та Інститут гірської справи ім. О.О.Скочинського (м. Москва). Наукові роботи в цій галузі свого часу виконували такі вчені та інженери, як І.Ф. Гончаревич, Л.П. Левін, Л.П. Стрельников, П.А. Сергеев, Г.Б. Букати, Л.А. Вайсберг та інші. Так в [4] зустрічаються довгомірні міжрезонансні вібраційні конвеєри з електромагнітним приводом, де робочим органом виступає кінематично збурена маса 1 (рис. 9). Принцип роботи транспортера аналогічний попередній схемі. Це доволі великогабаритні установки, довжина яких сягала більше 7 м, а маса завантаження до 1 т. Такі установки довели свою дієздатність.

У роботі [5] та авторському свідоцтві Л.С. Грідунова, Б.С. Зайковського, А.К. Кареліна, П.Л. Сергеева і В.А. Прохорова № 119132 (SU) “Вибрационный транспортер”, заявленого в 1958 р., зустрічаються віброконвеєри, де робочим органом виступає проміжна маса 2, досягнення необхідних амплітуд якої відбувається завдяки кінематично збуреним активним масам 1, значні динамічні сили яких передаються через резонансну пружну систему 4 (рис. 10). Такі вібромашини використовувались для транспортування гарячого коксу на збагачувальних підприємствах.

Перспективною розробкою є авторське свідоцтво № 400372 (SU) А.І. Макарова та А.Д. Рудіна “Электромагнитный вибратор”, що заявлене в 1969 р. (рис. 11). Згідно з винаходом удосконалюється тримасовий грохот з електромагнітним приводом, що може використовуватись в гірничо-збагачувальній промисловості. Робочим органом, аналогічно до попередньої розробки, виступає проміжна маса 2 до якої кріпиться ярмі електромагнітного віброзбудника. Необхідні амплітуди коливань робочого органа досягаються завдяки активній масі 1, кінематично збуреній через пружну систему 4. Котушка з осердяком 3 утворює окрему реактивну масу, що через пружну систему 5 з'єднується з робочим органом. Особливістю цієї конструкції та запропонованого підходу є те, що реалізуючи установку,

прослідковуються спроби збільшення інтенсивності коливань робочого органа за рахунок обґрунтованого підбору параметрів МКС.

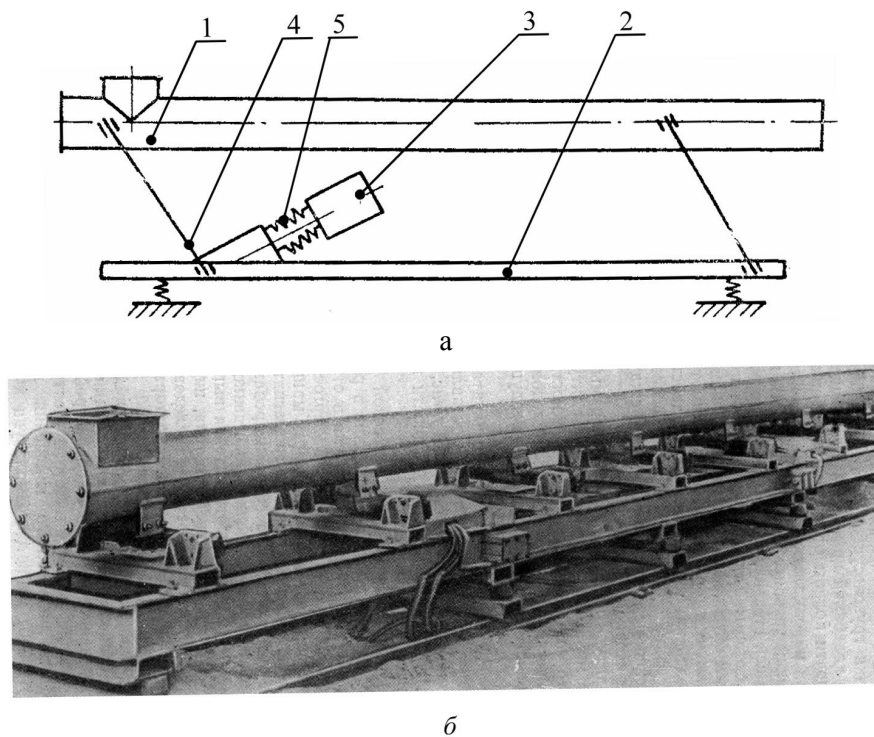


Рис. 9. Великогабаритний вібраційний транспортер з електромагнітним приводом: а – структурна схема (нумерація відповідно до рис. б); б – промисловий зразок

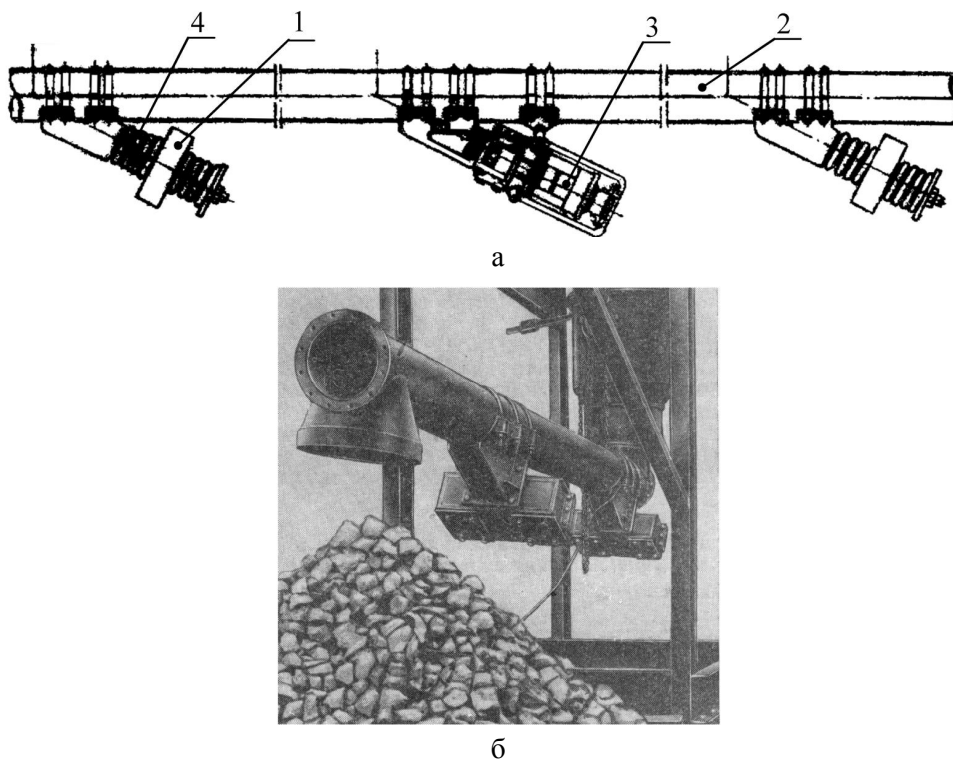


Рис. 10. Великогабаритний тримасовий транспортер розробки ВАТ “Механобр-техніка”: а – принципова схема; б – промисловий зразок

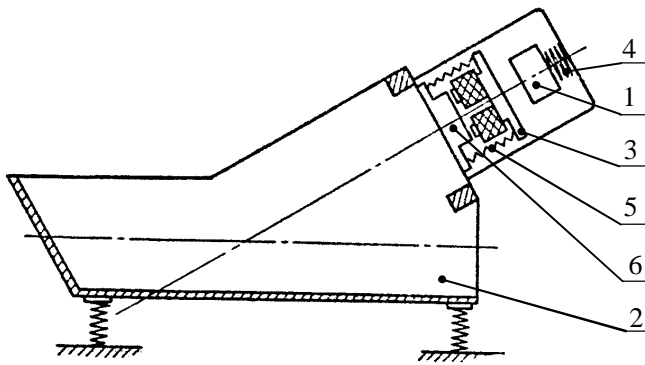


Рис. 11. Принципова схема елікопібратного вібраційного грохота розробки ВАТ "Механобр-техніка"

значними збурювальними зусиллями для великогабаритних установок металургійної та збагачувальної промисловостей. Можна відзначити роботи Б.І. Крюкова, В.П. Франчука, В.П. Надутого. Однак установкам з електромагнітним приводом не надавали значної уваги, оскільки вони були порівняно складнішими та потребували ретельних резонансних налагоджень.

Виконували відповідні розробки представники теперішнього Національного гірничого університету та Інституту геотехнічної механіки (м. Дніпропетровськ) під керівництвом академіка В.М. Потураєва [7]. Переважна більшість усіх розробок Дніпропетровської школи ґрунтувалась на дебалансному приводі, що можна пояснити необхідністю створення порівняно простих конструкцій зі

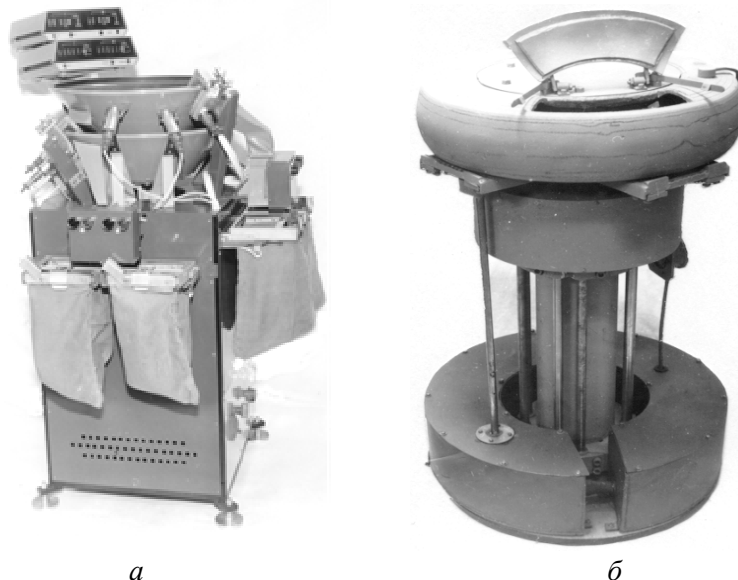


Рис. 12. Тримасове вібраційне обладнання розробки Національного університету "Львівська політехніка":
а – автомат для сепарації, підрахунку та фасування монет у банківські мішки;
б – торова вібраційна машина об'ємної обробки

Розробляли методики розрахунку та експериментальні зразки міжрезонансних МКС представники Київської школи вібротехніки [8]: Ю.Ф. Чубук, І.І. Назаренко, В.Б. Яковенко та ін. Розробки відповідних вібраційних машин стосувались обладнання для ущільнення бетоносумішей в будівельній промисловості. Цінним є те, що низку робіт виконували за напрямком міжрезонансних вібраційним машинам з електромагнітним приводом.

У межах Львівської політехніки над створенням тримасових вібраційних машин були задіяні такі науковці та провідні інженери, як В.О. Повідайло, Р.І. Сілін, В.А. Щигель, В.Д. Уфимцев, О.В. Гаврильченко, Ю.П. Шоловій, А.Л. Беспалов [2–3]. Ними були розроблено та апробовано широкий спектр мало- та середньогабаритних вібраційних машин різноманітного призначення з використанням динамічного гасника. Конструктивні схеми таких машин були тримасовими, однак

в розрахункових схемах вони зводились переважно до двох одномасових. Парціальні частоти активної та реактивної мас збігалися. На таких динамічних схемах, для прикладу, були створені вібраційні бункери, швидкість транспортування деталей в яких становила 1.7 м/с (рис. 12).

Саме представниками перелічених ВНЗ та НДІ на теренах Радянського Союзу та сучасної України розроблені основи та пророблено практично усі конструктивні схеми міжрезонансних великогабаритних вібраційних машин, перевірені на практиці конструкції з дебалансним та електромагнітним приводом.

Висновки. На сучасному етапі провідні світові корпорації виготовляють потужні силові вібраційні машини на основі електромагнітного приводу лише за двомасовою схемою (рис. 13, а–д). Серійного промислового випуску великогабаритного віброобладнання за тримасовими МКС не тільки з електромагнітним, а й з дебалансним приводом практично не здійснюють. Такі схеми час від часу знаходять застосування лише у порівняно невеликих малопотужних конструкціях вібротранспортерів, бункерних живильників, дозаторів, сепараторів. Такі дослідження розглядають з точки зору економічної доцільності. Так, якщо для забезпечення руху великогабаритної установки можна поставити дебалансні чи ексцентрикові віброзбудники, не виконуючи порівняно складного конструювання, розрахунків та налагоджень обладнання, то безумовно, цей шлях створення обладнання буде пріоритетним. До того ж установка матиме меншу собівартість.

Необхідно відзначити, що сьогодні доволі широко починають використовувати вібраційне обладнання на основі інерційного приводу, що працює в білярезонансних режимах. Особливістю таких установок є те, що вони у собі поєднують переваги інерційного та електромагнітного приводів, внаслідок чого МКС розвиває високі динамічні зусилля при порівняно невеликих габаритах приводу. Зазначені розробки мають такі компанії: Eriez Magnetics, Inc. (США); Jeffrey Specialty Equipment Corporation (США); ВАТ “Механобр-техніка” (Російська Федерація); Carrier Vibrating Equipment, Inc. (США) (рис. 13, е, є).

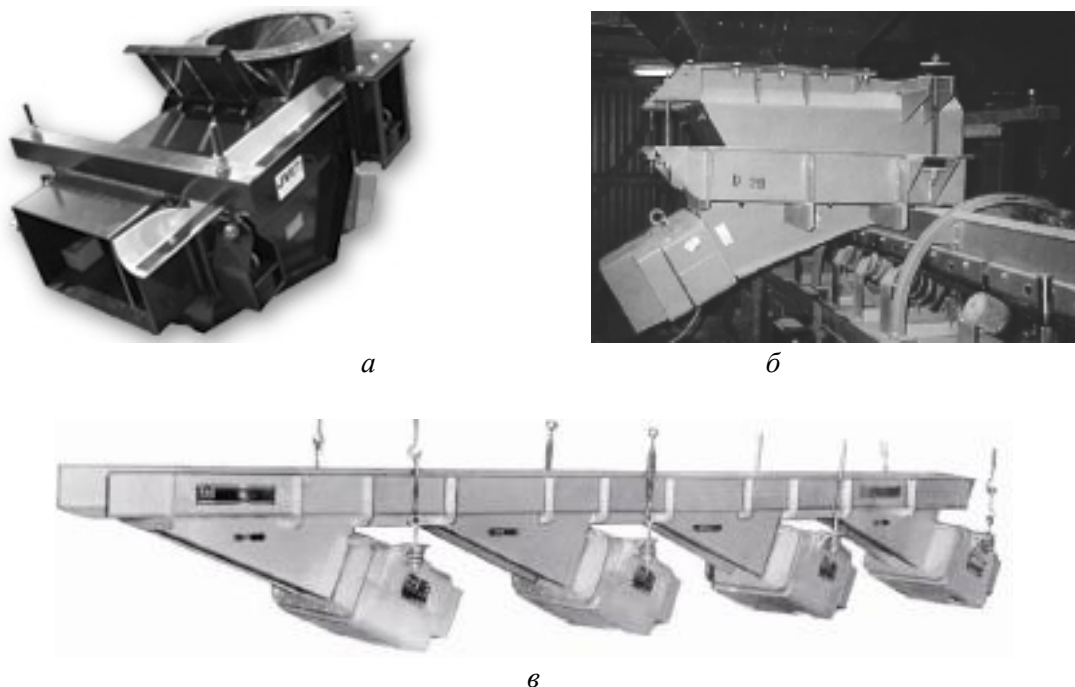


Рис. 13. Зразки великогабаритних вібраційних живильників з електромагнітним приводом провідних зарубіжних фірм та підприємств: а – JVI Vibratory Equipment (США); б – Vimec (Італія); в – Eriez Magnetics, Inc. (США)

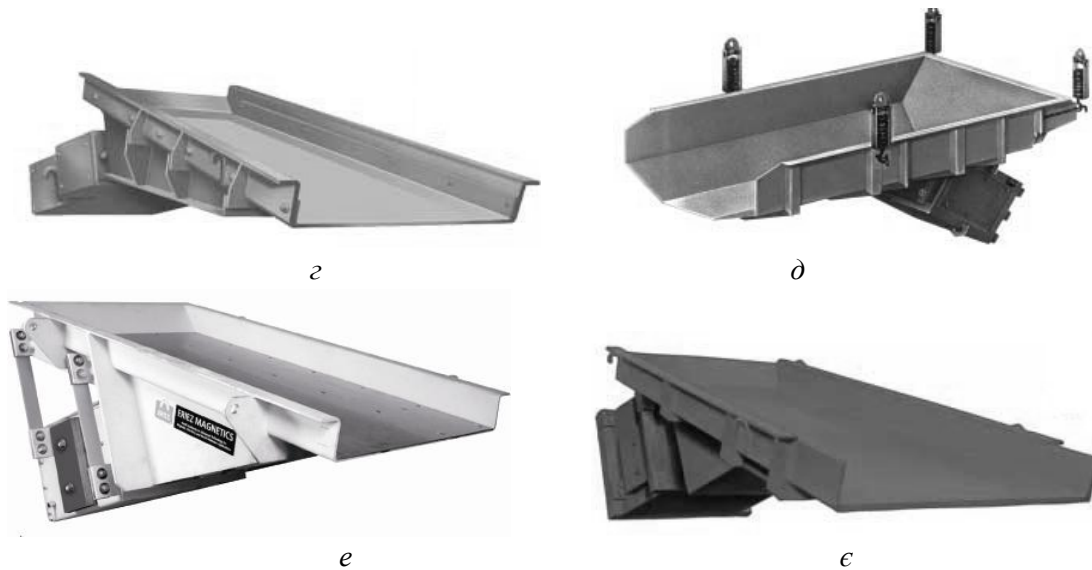


Рис. 13. Зразки великогабаритних вібраційних живильників з електромагнітним приводом провідних зарубіжних фірм та підприємств: г – Jeffrey Specialty Equipment Corporation (США); д – ВАТ “Механобр-техніка” (Російська Федерація) та вібраційні резонансні живильники з інерційним приводом виробництва фірм; е – Eriez Magnetics, Inc. (США); є – Jeffrey Specialty Equipment Corporation (США)

1. Європейська мережа бази даних патентів //www.espacenet.com. 2. Рабинович А.Н., Яхимович В.А., Боечко Б.Ю. Автоматические загрузочные устройства вибрационного типа. – К.: Техника, 1965. 3. Повідайло В.О. Вібраційні процеси та обладнання: Навч. посібник. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2004. 4. Гончаревич И.Ф., Стрельников Л.П. Электровибрационная транспортная техника. – М.: Машиз, 1963. – 311 с. 5. Гончаревич И.Ф., Сергеев П.А. Вибрационные машины в строительстве. – М.: Госгортехиздат, 1959. – 261 с. 6. Левин Л.П. Вопросы теории и расчета электровибрационных машин (конвейеров, грохотов и питателей) // Механика и расчет машин вибрационного типа. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – С. 19–36. 7. Потораев В.Н., Франчук В.П., Надутый В.П. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах: Монография. – Днепропетровск, 2002. – 190 с. 8. Назаренко И.И. Высокоэффективные виброформовочные машины. – К.: Выща шк., 1988. – 143 с.