

Романченко А. В.

Дзей С. Е.

**Восточноукраинский
национальный
университет имени
Владимира Даля**

УДК 621.9.048

**ВИБРАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА
ДЛИННОМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

У статті проаналізовано типи існуючих вібраційних верстатів з наявністю й без допоміжного устаткування. Розглянуто існуючі класифікації деталей, що підлягають вібраційному методу обробки, що здійснюється на цих верстатах. Представлено аналіз патентного пошуку конструкторських рішень по створенню устаткування для вібраційної обробки довгомірних деталей.

The types of existent oscillation machine-tools with and without ancillaries are analyzed in the article. Existing classifications of details that can be treated on that oscillation machine-tool are considered. The analysis of patent search of designer decisions for creation oscillation treatment equipment for long details is presented.

«...Детали больших габаритов резко ухудшают циркуляцию среды. Иногда она прекращается совсем.»

Шаинский М. Е.

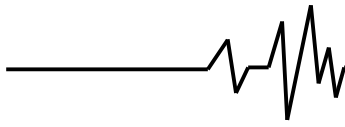
К 2010 году на рынке сформировалась определенная группа предприятий [1, 2], занимающихся выпуском вибрационного оборудования. Однако и сегодня существуют определенные затруднения при выборе конкретных станков для выполнения определенных задач. Это можно объяснить широким спектром возможностей этого универсального оборудования и неполнотой исследований процессов, происходящих при вибрационной обработке (ВиО), что приводит к упрощенному подходу при выборе оборудования.

Анализ существующих конструкций вибрационных станков с точки зрения их оптимальной производительности, надежности в работе и качества получаемых изделий освещен недостаточно, а существующая информация носит рекламный характер [1, 2, 3, 4], за исключением нескольких работ (например, [5]), т.е. не наблюдается системных исследований.

По характеру колебаний рабочего органа – контейнера все существующие вибрационные станки подразделяются на две большие группы [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Одни конструкции позволяют осуществлять колебания контейнера в плоскости (по двум взаимно перпендикулярным направлениям), другие – в объеме (по трем направлениям). Информация о работе этих станков носит противоречивый характер: так

авторы [8] утверждают, что станки с объемными колебаниями – тороидальные – более производительные, авторы [6] считают, что при прочих равных параметрах «...преимущество по съему металла с единицы обрабатываемой поверхности на 20-25% имеют установки с плоским движением». А также они считают: «К недостаткам установок с объемной вибрацией следует ... отнести сложность их конструкции и затруднения, связанные с изменением режимов вибрации». На территории постсоветского пространства эти станки широкого распространения не получили, хотя, как указано в [8], они работают на ОАО «Мотор Січ».

Для снижения себестоимости процесса, повышения производительности процесса и улучшения обслуживания в конструкцию вибрационных станков непрерывно вносятся различные усовершенствования. Например, это изменение траектории движения контейнера [9, 10]. Это оснащение станков встроенными в его конструкцию разделительными устройствами (вибросита, сепараторы и др.) с целью сокращения вспомогательного времени, связанного с выгрузкой деталей и отделением их от гранул, используемых в качестве обрабатывающего инструмента. Однако анализ, проведенный автором [6], показал, что «...в 90% случаев из 100 встроенные разделительные устройства не



используются вследствие их несоответствия конструкции обрабатываемых деталей». Именно поэтому сегодня один из ведущих мировых производителей вибрационных станков Rösler наряду со станками с встроенными разделительными устройствами изготавливает и в первую очередь станки без встроенных разделительных устройств [1]. Очевидно, что задачу выгрузки и отделения детали от обрабатывающего инструмента необходимо решать применительно к конкретным обрабатываемым группам деталей, не связанных с конструкцией вибрационных станков.

Что касается станков с плоской вибрацией, то они в отличие от тороидальных не оснащаются разделительными устройствами [1, 2, 3].

К наиболее трудоемким вспомогательным переходам относится разделение обработанных деталей и обрабатывающих гранул. Как уже указывалось выше, встраивание их в конструкцию вибрационного станка является нецелесообразным. Сегодня очень часто разделительные устройства выполняются отдельно, как вспомогательное оборудование для конкретных условий обработки и вполне определенных конструкций обрабатываемых деталей. Одно такое устройство может обслуживать несколько станков. Например, рассмотрим несколько конструкций.

Устройство типа «Невод» [11] (рис. 1) состоит из рамки со стрижнями жесткости, связанными с шарнирно соединенными звеньями. Кольцом приспособления надевается на крюк подъемно-транспортного устройства, например, тельфера. После того как обработка деталей в контейнере будет закончена, приспособление рычагами и крайними звеньями вводит в вибрирующий контейнер. Под действием вращающегося движения среды многозвенная часть приспособления затягивается в контейнер, причем вся система звеньев скользит по его стенкам. Через некоторое время рычаги и крайние звенья показываются над поверхностью среды со стороны, противоположной той, с которой приспособление заводилось в контейнер. Рычаги набрасываются на стержни решеток. Потом, надев кольцо цепи на крюк подъемника и сообщив ему движение вверх, приспособление вынимают из контейнера вместе с деталями. Гранулы среды, которые должны быть меньше пазов между звеньями решеток приспособления, проходят через

«Невод», а обрабатываемые детали остаются в нем.

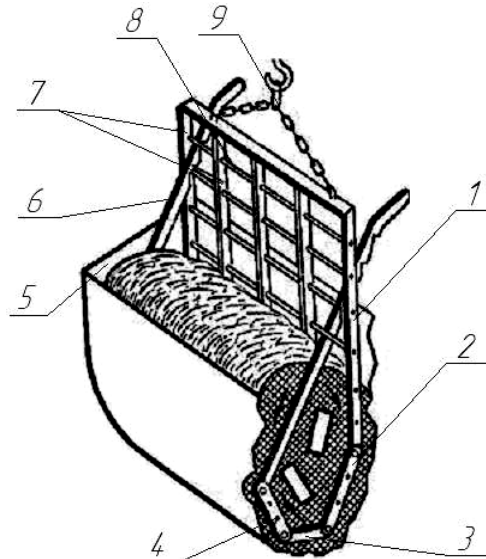


Рис. 1. Разгрузочное приспособление типа «Невод»: 1, 2, 3, 4 – звенья; 5 – контейнер; 6 – рычаг; 7 – рамка; 8 – стержни жесткости; 9 – кольцо

Рассмотрим [12], где вибрационный станок имеет контейнер 1 U-образной формы, в крайней нижней точке которого вдоль всей продольной оси установлен дебалансный вибровозбудитель 2 (рис. 2). Контейнер 1 установлен на пружинной подвеске 3. В контейнере 1 помещено решетчатое цилиндрическое устройство 4 для выгрузки и разделения гранул рабочей среды 5 и обработанных деталей 6 после вибрационной обработки. Сито в виде цилиндра, наполовину закрытого разделительной решеткой, погружается в вибрирующий контейнер, вращается и заполняется рабочей средой и деталями. При вынимании сита происходит их разделение: гранулы рабочей среды просыпаются через сито, а обработанные детали остаются в нем. После разделения вибрационный станок выключается.

Подобная конструкция станка используется и в конструкциях фирмы Vgunitat [13]. Изделия могут извлекаться и помещаться обратно в контейнер без остановки станка. Когда обработка завершается, загруженные в него изделия легко вынимаются с помощью специальной сортировочной корзины (рис. 3). Применяются несколько видов сортировочных корзин с разными размерами ячеек сетки для изделий разного размера.

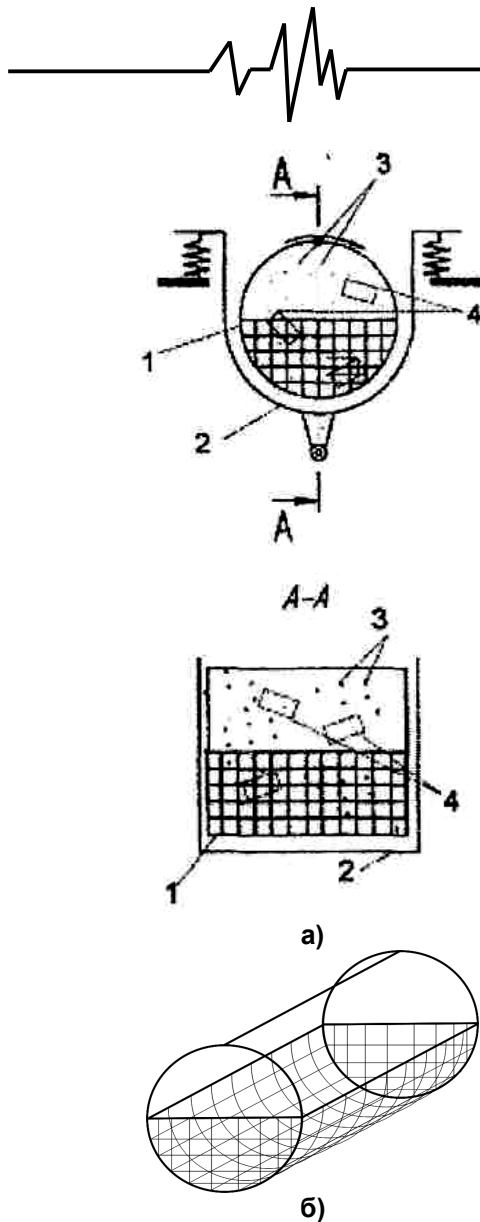


Рис. 2. Конструкции вибрационного станка с разгрузочно-разделительным устройством (а) и внешний вид данного устройства (б)

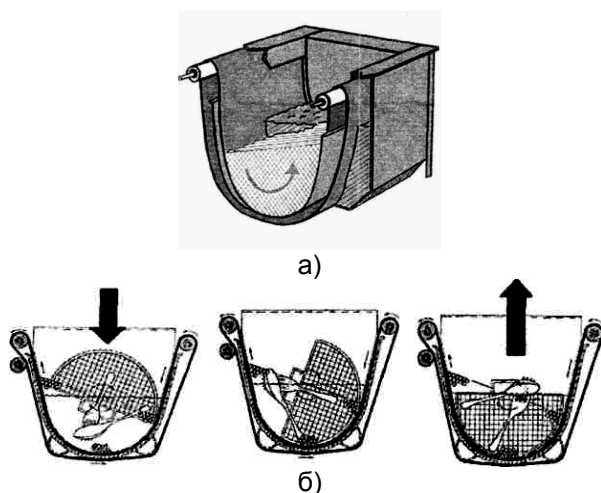


Рис. 3. Внешний вид контейнера (а) и этапы извлечения деталей (б)

Некоторые из выпускаемых вибрационных станков имеют достаточно узкое назначение – обработка специальных деталей из определенной отрасли машиностроения, авиастроения и др. Например, для обработки тел вращения сравнительно простой формы нашел применение виброшпиндельный способ обработки, при котором детали устанавливаются на шпинделе, вращающемся в колеблющемся контейнере вибрационного станка. Время обработки деталей значительно меньше [14], однако и меньше количество одновременно обрабатываемых деталей. Этот вид обработки сегодня можно выделить в самостоятельный метод – виброшпиндельную обработку, обладающий определенными преимуществами (сокращение времени обработки), но и недостатками, связанными с неравномерностью обработки детали, в первую очередь по высоте [15].

Анализируя обрабатываемые вибрационной обработкой детали, следует отметить, что для отдельных групп деталей используются станки проходного типа [1, 3] (рис. 4). Их применение, помимо использования дополнительных вспомогательных устройств, требует и увеличения производственной площади.

Совершенствование конструкций вибрационных станков и соответственно процесса ВиО должно происходить по нескольким основным направлениям:

- сокращение вспомогательного времени обработки (за счет создания различного дополнительного оборудования);

- совершенствование конструкции вибрационных станков, позволяющих обрабатывать детали, ранее не обрабатываемые этим методом, и сокращение машинного времени обработки деталей тех видов и форм, которые ранее обрабатывались на вибрационных станках;

- качественное изменение самого процесса обработки на основе новых конструкций машин с целью сокращения основного и вспомогательного времени технологической операции.

Для этого остановимся на рассмотрении деталей, обрабатываемых на вибрационных станках.

Как известно, основой создания любого технологического процесса, и вибрационная обработка – не исключение, является условие обеспечения заданных заказчиком (чертежом) требований к качеству изделия при наименьшей его (процесса) себестоимости и максимальной производительности. Такое условие в свою очередь требует создания

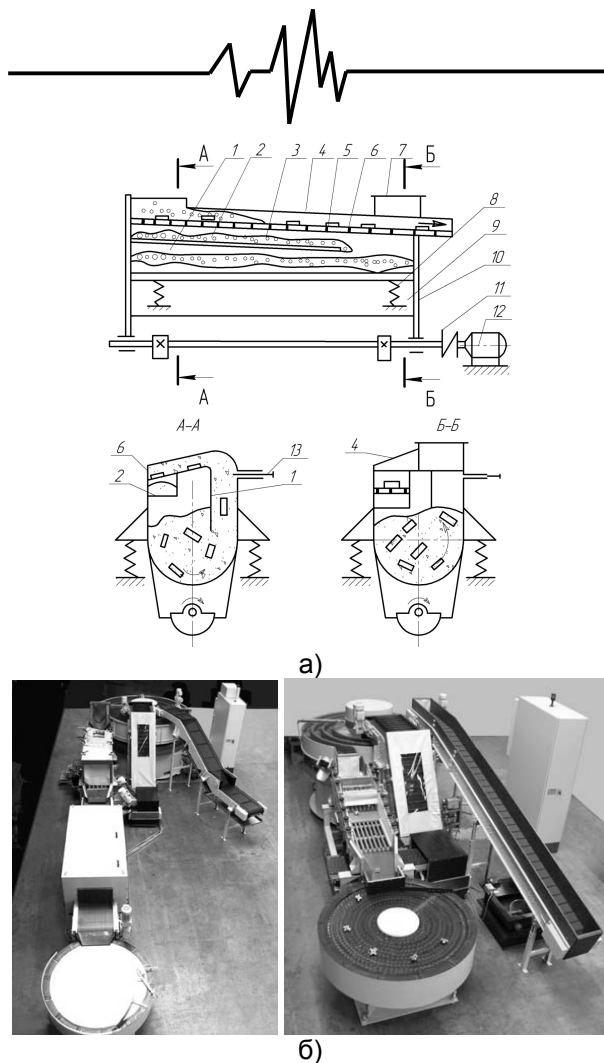


Рис. 4. Станки проходного типа:
а) – конструкция станка модели MBM-150:
1 - желоб; 2 - лоток; 3 – рабочая среда;
4 - крышка; 5 - детали; 6 – сепарирующая
решетка; 7 - загрузочный люк; 8 - упругая
подвеска; 9 - контейнер; 10 - вибропривод;
11 - эластичная муфта; 12 - двигатель;
13 – заслонка; б) – станки фирмы Rösler

прогрессивного технологического процесса для всего многообразия деталей, подлежащих ВиО [16]. Для сокращения количества разрабатываемых технологических процессов необходимо в деталях, подлежащих обработке, выделить идентичные признаки, что позволило бы объединить их в группы. Для эффективного применения вибрационной обработки, в связи с отсутствием общемашиностроительного классификатора, включающего вибрационные методы обработки, возникла необходимость его создания. Попытка создания классификатора по группированию деталей с целью разработки типовых технологических процессов осуществлялась неоднократно [6, 7, 17].

В работе [18] предлагаются следующие классификационные признаки: материал детали (для выбора химической добавки),

максимальные габариты детали (для выбора габаритов и объема контейнера), предварительная операция и форма детали (для выбора формы и грануляции единичных гранул, времени обработки). Ориентируясь только на габаритные размеры, при выборе технологического оборудования не учитывается масса обрабатываемых деталей, составляющих часть массы загрузки, а соответственно, не учитывается необходимая мощность привода станка, а, следовательно, и последующее усилие взаимодействия гранулы и детали.

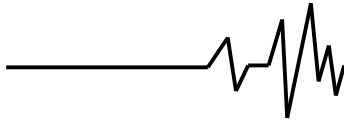
Классификация, приведенная в [19], учитывает форму обрабатываемой детали в целом и ее конструктивных элементов, габариты, массу и материал, приведены несколько возможных вариантов по выбору единичных гранул, рабочих жидкостей и амплитудно-частотных характеристик. Однако данный подход применяем только для ограниченной номенклатуры изделий, т.к. не включена информация об исходном состоянии обрабатываемой поверхности, что не дает возможности охарактеризовать экономическую целесообразность применения данного метода обработки.

Анализ изделий с учётом их материала и метода получения заготовки, операций виброобработки, исходного и конечного состояния поверхностей, их габаритных размеров и сложности формы представлен в работе [7]. Но при этом не приводятся конкретные числовые значения параметров, используемых при группировании деталей по принятым признакам. Рассматриваемый приём проектирования процесса виброобработки носит сугубо методический характер и не доработан для практического использования.

В работе [20] приводится анализ длинномерных изделий с малой изгибной жёсткостью, подлежащих виброударной обработке.

Классификационными характеристиками являются размеры деталей, сложность их формы, исходное состояние, нормы точности, материал и др. Вместе с тем, несмотря на сходство характеристик, использование данных материалов при технологическом проектировании процессов виброшлифования и виброполирования изделий не представляется возможным из-за принципиальных отличий проводимых процессов.

Революционный для своего времени классификатор, представленный в [6], и сегодня не потерял своей актуальности. К сожалению, он был разработан для одного станка – ВМИ1004А (с объемом контейнера



120 л, $A=0,2-4$ мм, $f=30-42,5$ Гц), отсюда предположительно такой диапазон по массам и габаритам обрабатываемых деталей (рис. 5). Этими же авторами была введена классификация деталей по методу вибрационной обработки, учитывающая материал, габариты, формы и конструктивные элементы, исходное и конечное состояние поверхности, количество одновременно обрабатываемых деталей.

Следует отметить, что в описательной части, сопровождающей классификатор, авторы рассуждают о необходимости при отнесении деталей к той или иной группе учитывать еще следующие дополнительные факторы: «... взаимосвязь габаритов и веса деталей; усложнение обработки деталей больших габаритов ввиду того, что в процессе вибрационной обработки они взаимно предохраняют обрабатываемые поверхности от воздействия абразивной среды; необходимость строгого соблюдения оптимального количества деталей, загружаемых в резервуар, так и его перегрузка резко усложняет условия обработки и увеличивает машинное время; ограничение габаритов деталей относительно размеров резервуара ... при определении максимально допустимого размера деталей было установлено, что он не должен превышать $1/3$ ширины резервуара. Детали больших габаритов резко ухудшают циркуляцию среды. Иногда она прекращается совсем» [6]. Также необходимо отметить, что существовали ограничения и по отношению массы обрабатываемого изделия к массе единичной гранулы в пределах $2,5...30$ [6]. Тем самым сфера применения виброабразивного метода обработки ограничивалась.

Из данного классификатора [6] следовало, что детали, чьи габаритные размеры или размер превышают $1/3$ ширины контейнера не могут обрабатываться на таком станке. Данное утверждение не совсем корректно, т.к. сегодня [1, 21, 22] речь идет именно об объемных деталях, они стабильно обрабатываются. И к длинномерным деталям с длиной более чем $1/3$ и поперечным размером, равным $1/3$ данное утверждение вообще не подходит, т.к. детали (особенно массивные) с выраженной симметрией занимают определенное неизменное положение в движущейся рабочей среде, т.е. длинномерные детали будут располагаться вдоль продольной оси контейнера [23]. Таким образом, переход на относительно высокочастотные станки, по сравнению с ранее используемыми, сбалансированно используемыми

амплитудами, позволяющие создать помимо осциллирующих перемещений деталей и гранул устойчивый циркуляционный поток всей массы загрузки, обеспечил расширение технологических возможностей ВиО.

Рекомендации по выбору инструмента – размера и формы единичной гранулы жестко привязаны к размерам минимального конструктивного элемента, нуждающегося в обработке (паза, канавки, отверстия и пр.) [6], что в свою очередь может негативно отражаться на производительности процесса в целом при обработке крупногабаритного изделия. Ориентация на минимальный конструктивный элемент обрабатываемой детали при выборе единичных гранул рабочей среды (с учетом достижения любой точки обрабатываемой поверхности) недостаточна. Также утверждается, что масса обрабатываемой детали не является признаком для выбора того или иного технологического процесса обработки, то есть не учитывается тот факт, что детали одной формы и типоразмера могут иметь различную массу и, как следствие, различное поведение внутри контейнера станка.

Из анализа литературных источников [6, 7, 18, 19, 20] видно, что существующие классификаторы не охватывают всю номенклатуру обрабатываемых изделий, имеют место только общие рекомендации для частных случаев обработки, при этом отсутствуют данные по обработке мелких и крупногабаритных, в том числе массивных деталей.

Деление деталей на основе вышеприведенного анализа на мелкие, средние и крупногабаритные приведено на схеме (рис. 6), и также отражены ограничения по возможности их обработки на вибрационных станках (рис. 7). Следует отметить, что для ограниченно обрабатываемых на вибрационных станках изделий не существуют вообще их классификаторы. Там же (рис. 6) указано, для каких деталей существуют типовые технологические процессы, которыми можно пользоваться на производстве, и для каких есть единичные упоминания в литературных источниках.

Вибрационной обработке может подвергаться одновременно большое количество деталей простой или сложной формы различных габаритных размеров. Однако применение данного вида обработки достаточно долгое время было проблематично для:

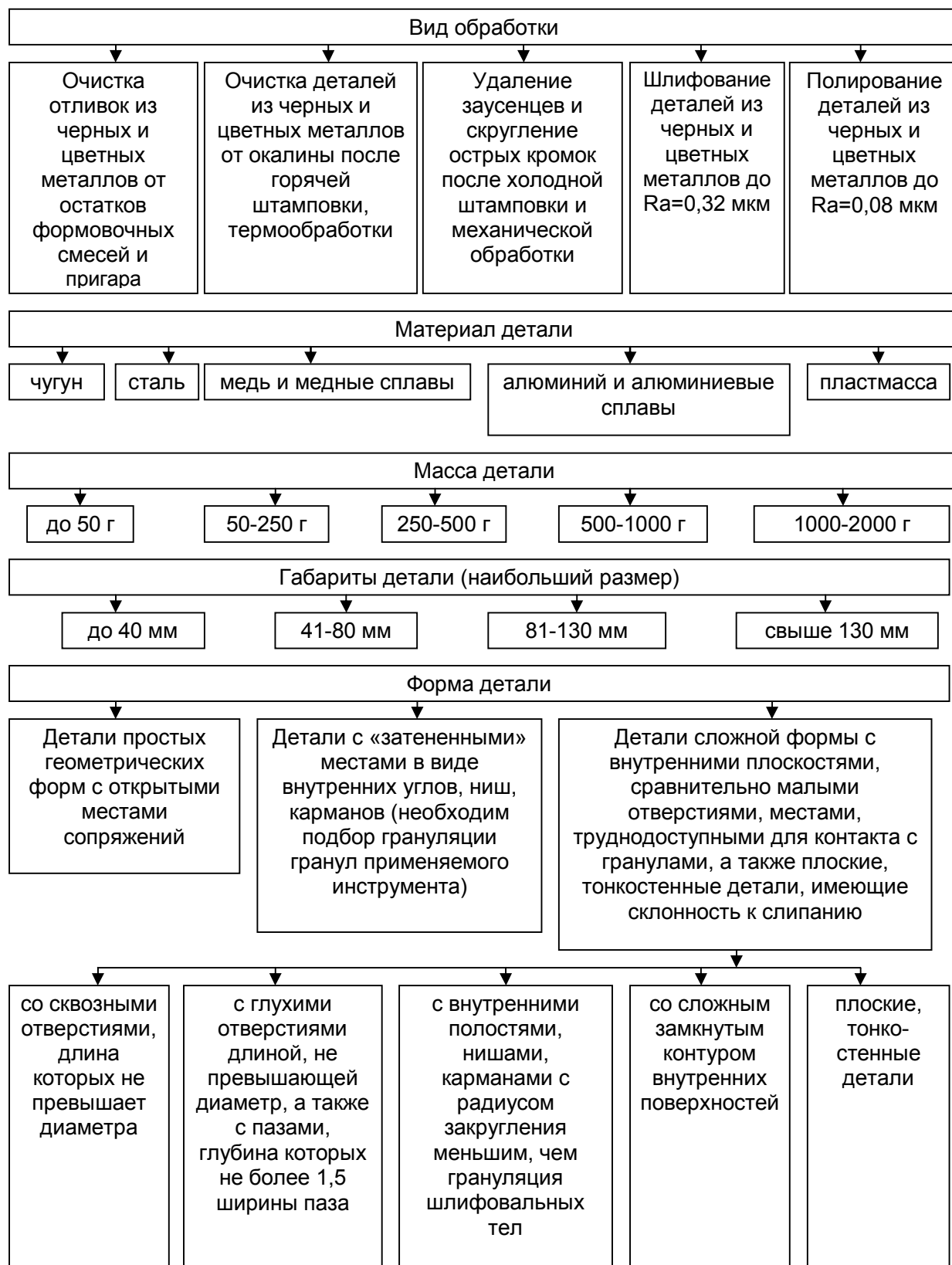
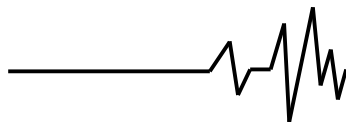


Рис. 5. Классификатор деталей по [6]

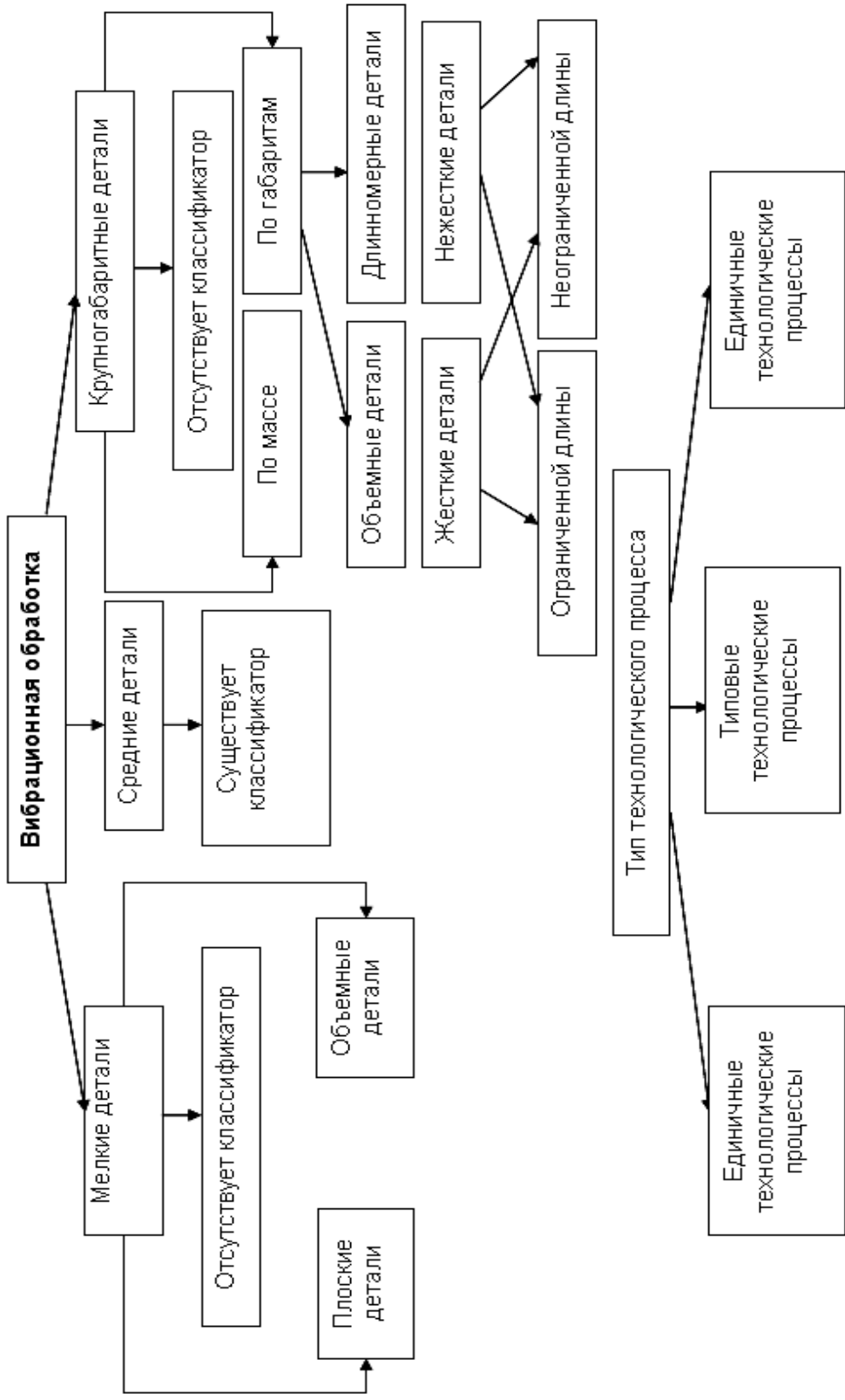
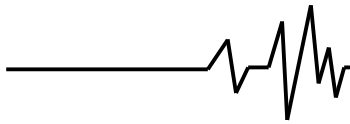


Рис. 6. Схема-классификатор деталей, подлежащих вибрационной обработке

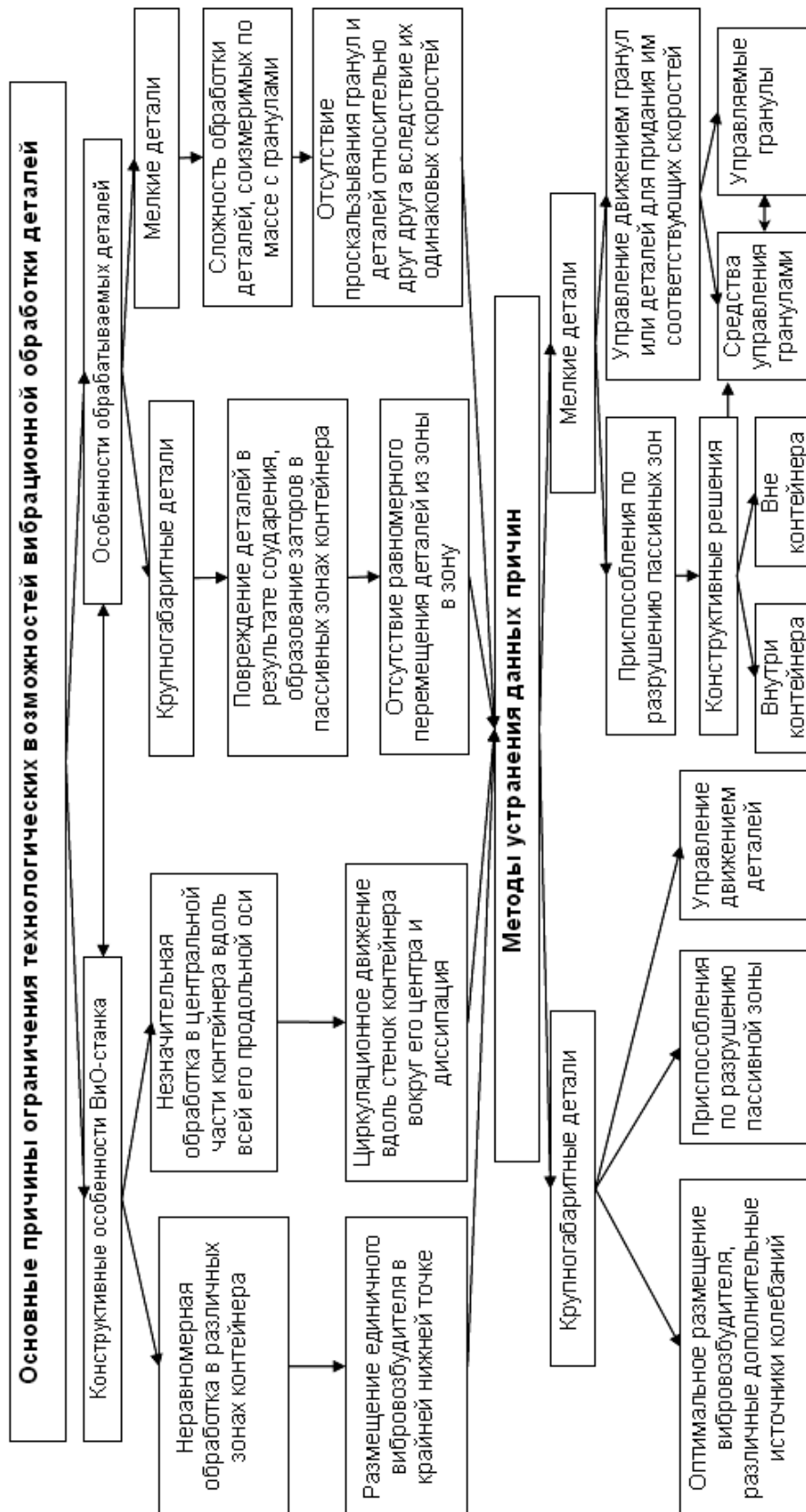
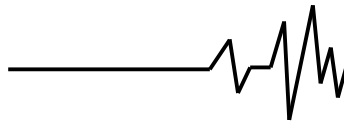
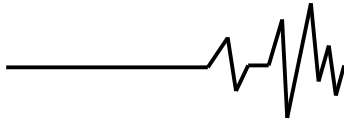


Рис. 7. Основные причины ограничения применения метода ВиО и методы их устранения



- деталей с массой, равной массе гранул рабочей среды (малая скорость проскальзывания между ними приводит к снижению эффективности обработки),

- плоских деталей (наблюдается склонность к слипанию друг с другом и налипанию на стенки контейнера),

- деталей, имеющих «затененные» места и отверстия различного диаметра и глубины (отсутствуют рекомендации по форме и размерам гранул рабочей среды),

- крупногабаритных деталей (требуются контейнеры с большими объемами, а также специальные приспособления для фиксации или направления движения),

- длинномерных деталей (сложность обеспечения равномерного полойного циркуляционного движения рабочей среды вдоль всей длины контейнера).

Если в последнее время появились работы [9, 21, 24], посвященные вопросам вибрационной обработки деталей первых четырех типов, то по обработке последних они на сегодняшний день отсутствуют, хотя ранее и осуществлялись попытки обработки длинномерных деталей. Сегодняшняя потребность в улучшении качества поверхности обрабатываемых изделий с одновременным повышением экологической безопасности производства требует возвращения к рассмотрению данного вопроса.

Остановимся на понятии длинномерности деталей при ВиО и о причинах, тормозящих обработку некоторых деталей. Если при обработке на станках с жесткой кинематической связью проблема длинномерности детали связана в первую очередь с возможностью ее (детали) прогиба при обработке и нарушении ее точностных параметров, то при ВиО это иные причины, а именно:

- детали, занимающие в процессе обработки определенное устойчивое положение – вдоль продольной оси контейнера, при этом поперечный размер детали (d) значительно меньше продольного размера – длины (L): $d \ll L$;

- длина детали превышает ширину поперечного сечения контейнера ($2R$, где R – радиус дна контейнера): $L > 2R$;

- длина детали стремится к длине контейнера L_k : $L \rightarrow L_k$;

- детали бесконечной длины, например, проволока: $L \gg L_k$;

- нежесткие легкие длинномерные детали, например, спицы.

Проблема последних деталей заключается в том, что в силу своей малой массы они не могут оказать сопротивление действию единичных хаотически перемещающихся гранул и не могут самоориентироваться в объеме загрузки. В этом случае деталь не может занять устойчивое положение, изгибается и т.д.

Проанализировав существующие классификаторы деталей, обрабатываемых ВиО [6, 7, 19, 20], отметим, что длинномерные детали вообще не попали в группу деталей, которые обрабатываются методом ВиО, хотя конструктивные решения (табл. 1), исследования [19, 20, 21, 23] и материалы предприятий [1] говорят о возможности их обрабатываемости этим методом и необходимости его применения.

Сегодня актуальной является проблема отделки труб, полученных прокатом. Часто трубы покрываются изоляционным покрытием с различными эксплуатационными требованиями. Для лучшего сцепления необходимо удалить окалину, оставшуюся с предварительной операции. Сцепление покрытий с поверхностью значительно повысится, если обеспечить на поверхности высокоразвитый микрорельеф, что возможно обеспечить вибрационной обработкой.

В [43] приведены результаты обработки корродированных труб, помещенных свободно, а также в кассете, закрепленной в вибрирующем U-образном контейнере, в рабочих средах, состоящих из боя абразивных кругов, гранитной крошки и щебня из песчаника. Экспериментальные исследования авторов показали, что обработка закрепленных образцов неравномерная и значительно зависит от распределения потоков абразива, которое определяется размерами зазоров между трубами и их расположением в контейнере. Свободно загруженные образцы обрабатывались равномерно, при этом достигалась матовая поверхность серого металлического цвета. Удовлетворительное состояние поверхности образцов труб достигалось, в зависимости от степени коррозии и загрязнения, за время от 15 минут до 1 часа.

В результате проведенного патентного поиска и, несмотря на противоречивость, присутствующую в литературном обзоре, можно сделать вывод, что применительно к длинномерным деталям вибрационная обработка не только возможна, но и востребована. Сегодня – это трубы, прутки, профили различных типов и длины. Однако



Таблица 1

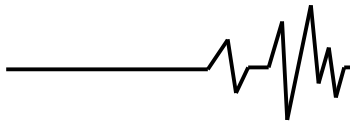
Примеры способов вибрационной обработки длинномерных деталей
(на основании патентного поиска)

Авторы	Конструкция	Формула изобретения
[25]	<p>1 – обечайка; 2 – вибровозбудитель; 3 – пружины; 4 – основание; 5 – торцовые стенки; 6 – карман; 7 – уплотнитель; 8 – длинномерная деталь; 9 – рабочие тела.</p>	<p>Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей в контейнере, состоящем из упруго установленной на основании обечайки с вибровозбудителем и торцовых стенок со сквозными окнами, снабженными уплотнителями, отличающееся тем, что, с целью повышения степени упрочнения деталей за счет самосжатия рабочей среды в процессе обработки, торцевые стенки жестко установлены на основании и снабжены карманами, днища которых выполнены с наклоном под углом 35-55° в сторону обечайки, установленной с зазором между торцовыми стенками.</p>
[26]	<p>1 – рабочая емкость; 2 – подвижные перегородки; 3 – неподвижные сменные крышки; 4 – подвижные крышки; 5 – соединительный элемент; 6 – ползун; 7 – направляющие; 8 – кривошип; 9 – обрабатываемые детали.</p>	<p>Устройство для обработки поверхности длинномерных деталей гранулированной рабочей средой, содержащее горизонтально расположенную рабочую емкость со сквозными отверстиями, предназначенными для обрабатываемых деталей, смонтированную на основании с возможностью перемещения вдоль оси отверстий посредством привода возвратно-поступательного движения и снабженную уплотнением, отличающееся тем, что, с целью интенсификации процесса обработки, уплотнение выполнено в виде двух расположенных на входе и выходе рабочей емкости и заполненных эластичными гранулами отсеков, образованных перегородками, установленными в рабочей полости с возможностью перемещения вдоль оси отверстий.</p>



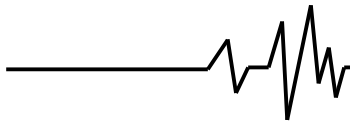
Продолжение табл. 1

Авторы	Конструкция	Формула изобретения
[27]	<p>1 – основание; 2 – платформа; 3 – вибровозбудитель; 4 – контейнер; 5 – упругие уплотнения; 6, 7 – резервуары; 8 – шарнир; 9 – торцевые стенки; 10 – дно; 11 – внешние стенки; 12 – перегородки; 13 – окно; 14 – канал; 15 – направляющие; 16 – стопор.</p>	<p>Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей, содержащее упруго установленную на основании виброплатформу с вибровозбудителем и контейнером и привод подачи обрабатываемых деталей, при этом в контейнере выполнены входное и выходное окна, предназначенные для прохода деталей, отличающееся тем, что, с целью повышения удобства в эксплуатации за счет исключения просыпания рабочей среды за пределы контейнера, последний снабжен двумя поперечными перегородками с окнами, предназначенными для прохода обрабатываемых деталей; при этом перегородки установлены в объеме контейнера соответственно со стороны входного и выходного окон с возможностью перемещения вдоль его полости, а контейнер выполнен составным из двух соединенных между собой посредством упругого элемента резервуаров, шарнирно связанных с платформой с помощью введенных в устройство соосно расположенных шарниров.</p>
[28]	<p>1 – основание; 2 – контейнер; 3 – окно; 4 – гибкий рукав; 5 – вибровозбудитель.</p>	<p>Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей, содержащее рабочий орган, состоящий из двух упругосвязанных с основанием и параллельно расположенных контейнеров с выполненными в их боковых стенках окнами для прохода обрабатываемых деталей и системы вибровозбуждения, при этом окна соседних боковых стенок контейнеров соединены посредством эластичного рукава, отличающееся тем, что, с целью повышения экономии рабочей среды путем исключения просыпания последней через наружные окна контейнеров, система вибровозбуждения выполнена из двух дебалансных вибраторов, расположенных у соседних стенок контейнеров, при этом каждый из вибраторов установлен со смещением от вертикальной оси контейнера к средней части рабочего органа таким образом, что отношение расстояния от оси контейнера до оси вибровозбудителя к расстоянию от оси контейнера до боковой стенки находится в пределах 0,2-0,4.</p>



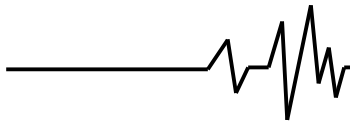
Продолжение табл. 1

Авторы	Конструкция	Формула изобретения
[29]	<p>1 – основание; 2 – контейнер; 3 – окно; 4 – вставка; 5 – отверстие; 6 – втулка; 7 – конус; 8 – крышка; 9 – вибровозбудитель</p>	<p>Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей, содержащее упруго установленный на основании цилиндрический контейнер с вибровозбудителем и окнами для прохода обрабатываемых деталей и подвижное средство для уплотнения рабочей среды со смонтированным на контейнере приводом возвратно-поступательного перемещения. В устройстве с целью повышения производительности процесса обработки за счет увеличения динамического воздействия рабочей среды на поверхность обрабатываемых деталей средство для уплотнения рабочей среды размещено внутри контейнера и выполнено в виде двух усеченных конусов, соединенных между собой малыми основаниями посредством втулки, расположенной соосно с окнами контейнера.</p>
[30]	<p>1 – основание; 2 – контейнер; 3 – емкость; 4 – деталь</p>	<p>Способ вибрационной обработки длинномерных деталей в прямолинейном контейнере, при котором контейнер загружают рабочей средой, а обрабатываемые детали размещают в объеме контейнера вдоль его продольной оси в индивидуальных ячейках поворотного приспособления, после чего обрабатывающей среде и обрабатываемым деталям сообщают вращение в одном направлении. В способе с целью повышения производительности процесса обработки вращение обрабатываемым деталям и среде сообщают с относительной скоростью 0,05-0,1м/с.</p>

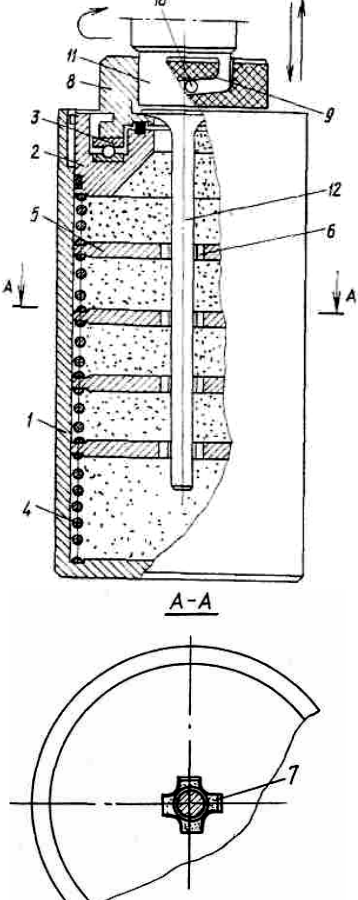
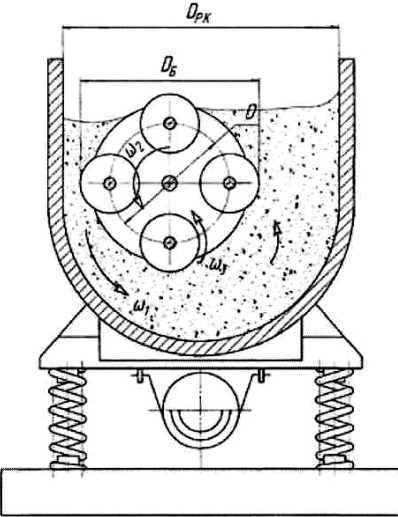


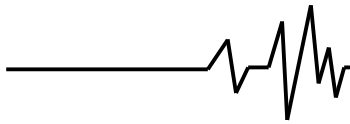
Продолжение табл. 1

Авторы	Конструкция	Формула изобретения
[31]	<p>1 – обечайка; 2 – вибровозбудитель; 3 – электродвигатель; 4 – пружина; 5 – основание; 6 – стенка; 7 – окно; 8 – уплотнитель; 9 – транспортер; 10 – деталь; 11 – рабочие тела; 12 – электродвигатель; 13 – редуктор; 14 – барабан; 15 – несущая часть; 16 – жесткий поперечный элемент; 17 – канавка</p>	<p>Устройство для вибрационной обработки крупногабаритных плоских деталей, содержащее контейнер, выполненный в виде упруго установленной на основании обечайки с вибратором и жестко закрепленных на основании торцевых стенок с окнами для прохода закрепленных деталей, а также средство перемещения обрабатываемых деталей через рабочую полость контейнера, при этом окна снабжены уплотнениями для предотвращения утечки рабочей среды. С целью повышения производительности обработки обечайка выполнена замкнутой, а средство для перемещения обрабатываемых деталей выполнено в виде по меньшей мере двух транспортеров, каждый из которых выполнен в виде двух вертикально расположенных барабанов, связанных между собой посредством двух гибких нитей, соединяемых жесткими поперечными элементами с введенными а устройство средствами для установки обрабатываемых деталей. Барабаны с каждой стороны контейнера установлены со смещением, величина которого выбрана из условия обеспечения независимой установки и снятия обрабатываемых деталей на каждом из транспортеров.</p>
[32]	<p>1 – контейнер; 2 – основание; 3 – стенка; 4 – окно; 5 – стенка; 6 – дно; 7 – уплотнение; 8 – вибровозбудитель; 9 – изделие; 10 – тяга; 11 – талреп; 12 – стержень; 13 – горизонтальная часть стержня; 14 – кольцо; 15 – направляющая; 16 – стопор; 17 – вторая часть стержня</p>	<p>Устройство для вибрационной обработки длинномерных изделий, содержащее контейнер, состоящий из жестко закрепленных на основании торцевых стенок с проходными окнами для обрабатываемых изделий и упруго установленного на основании дна с вибратором, а также привод перемещения обрабатываемого изделия выполнен в виде рычага, установленного у одной из торцевых стенок контейнера с возможностью взаимодействия с дном, посредством введенной в устройство системы тяг, при этом рычаг выполнен в виде изогнутого стержня с горизонтальной и наклонной частями, причем горизонтальная часть стержня одним концом шарнирно связана с основанием, а другим – с системой тяг, при этом свободный конец наклонной части стержня расположен на уровне нижнего края проходного окна. Основание снабжено поворотным кольцом, размещенным в выполненной в основании кольцевой направляющей, а шарнир, связывающий горизонтальную часть стержня с основанием, установлен на внутренней части поворотного кольца.</p>

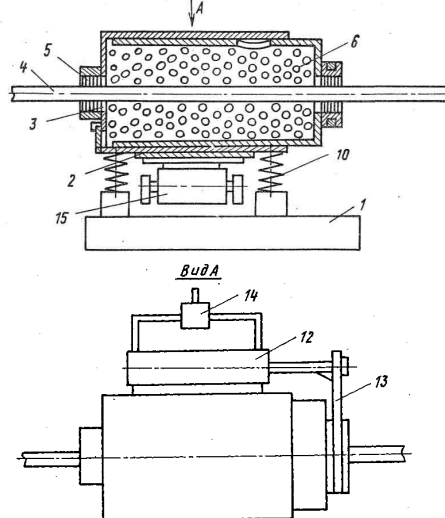
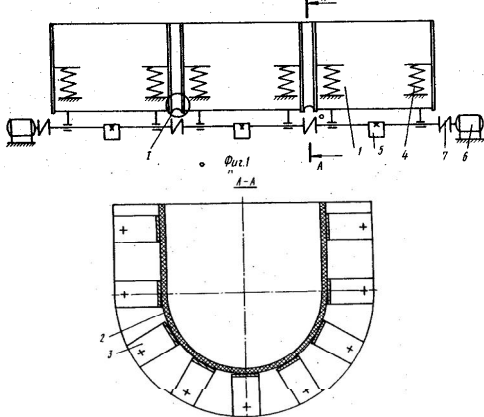
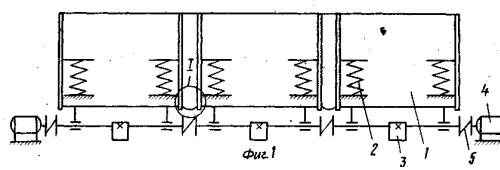


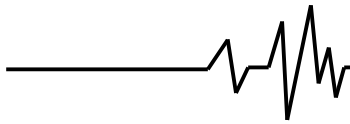
Продолжение табл. 1

Авторы	Конструкция	Формула изобретения
<p>[33]</p>	 <p>1 – емкость; 2 – поршень; 3 – подшипник; 4 – пружина; 5 – диск; 6 – отверстие; 7 – канавка; 8 – держатель; 9 – паз; 10 – штифт; 11 – оправка; 12 – деталь</p>	<p>Устройство для абразивной обработки деталей, содержащее заполненную абразивным агентом цилиндрическую емкость с крышкой, державку и привод вращения детали. С целью интенсификации процесса обработки оно снабжено подпружиненными кольцевыми дисками, установленными в емкости на одинаковом расстоянии друг от друга, и кольцевым поршнем с упорным подшипником, установленным в емкости с возможностью контакта последнего с держателем, причем в каждом диске выполнены канавки, сообщающиеся с центральным отверстием.</p>
<p>[34]</p>		<p>Устройство содержит вибровозбудитель, контейнер, кассетный барабан для установки обрабатываемых деталей, размещенный в полости упомянутого контейнера вместе с обрабатывающей средой с возможностью вращения его вокруг своей оси. Контейнер выполнен с частью округлой формы и упруго установлен на основании с возможностью получения колебаний от вибратора. Кассетный барабан свободно размещен в полости контейнера и выполнен диаметром, составляющим 0,5-0,6 диаметра округлой части контейнера. Упомянутый кассетный барабан выполнен из условия обеспечения расположения в нем обрабатываемых деталей с возможностью вращения каждой из которых вокруг своей оси. В результате упрощается конструкция устройства и повышается производительность обработки.</p>

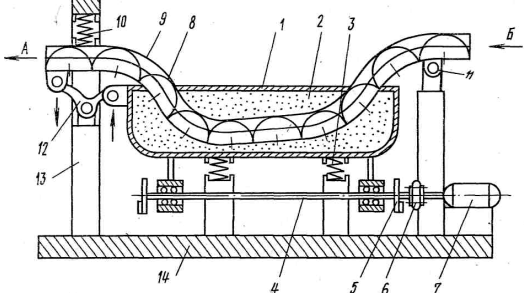
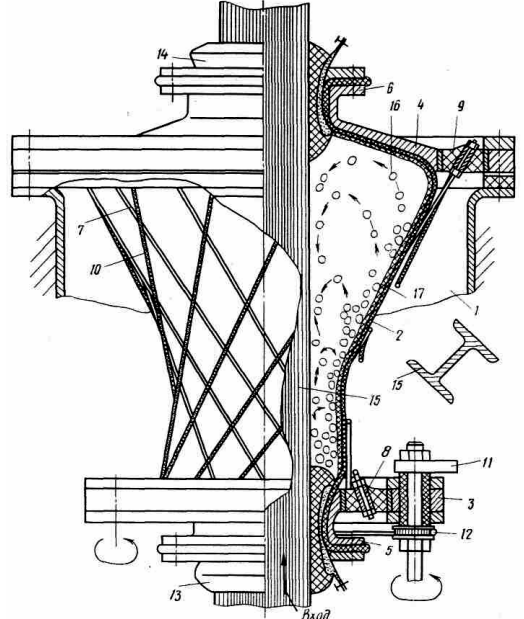


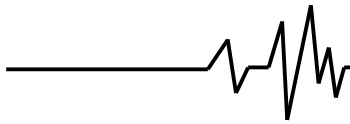
Продолжение табл. 1

Авторы	Конструкция	Формула изобретения
[35]	 <p>1 – основание; 2 – контейнер; 3 – окно; 4 – деталь; 5 – щетка; 6 – рабочая среда; 7 – загрузочный люк; 8 – разгрузочный люк; 9 – наружная часть резервуара; 10 – упругий элемент; 11 – внутренняя часть резервуара; 12 – пневмопривод; 13 – рычаг; 14 – система управления; 15 – вибровозбудитель</p>	<p>Вибрационный станок для обработки длинномерных изделий гранулированной рабочей средой, содержащий упруго установленный на основании контейнер с вибровозбудителем, при этом в торцовых стенках контейнера выполнены окна с уплотнениями. С целью расширения технологических возможностей путем регулирования уровня загрузки рабочей среды, контейнер выполнен составным в виде телескопически соединенных между собой частей с возможностью перемещения внутренней части вдоль наружной.</p>
[36]	 <p>1 – контейнер-секция; 2 – гофра; 3 – упругая пластина; 4 – подвеска; 5 – вибровозбудитель; 6 – двигатель; 7 – эластичная муфта</p>	<p>Вибрационная машина для обработки длинномерных и крупногабаритных изделий, у которого с целью повышения надежности эластичных соединительных элементов, последние армированы равномерно чередующимися изогнутыми по форме эластичных соединительных элементов упругими пластинами, расположенными с внешней стороны эластичных соединительных элементов.</p>
[37]	 <p>1 – секция; 2 – упругая подвеска; 3 – вибровозбудитель; 4 – двигатель; 5 – эластичная муфта; 6 – гофра; 7 – скоба</p>	<p>Вибрационная машина для обработки длинномерных и крупногабаритных изделий, у которой с целью расширения технологических возможностей вибрационной машины за счет регулирования жесткости эластичных соединительных элементов, внутри гофр выполнены полости для заполнения их рабочей средой от источника рабочей среды регулируемого давления.</p>

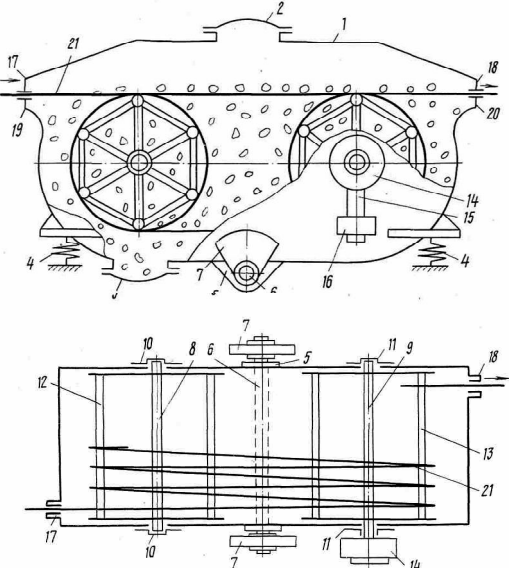
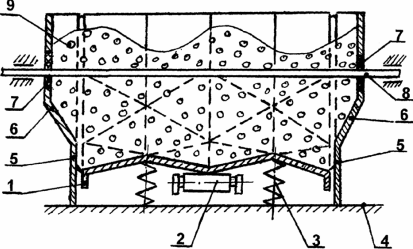


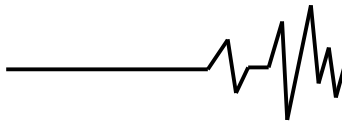
Продолжение табл. 1

Авторы	Конструкция	Формула изобретения
[38]	 <p>1 – рабочая камера; 2 – абразивная среда; 3 – пружина; 4 – вал; 5 – дебаланс; 6 – эластичная муфта; 7 – электродвигатель; 8 – деталь; 9 – лоток; 10 – пружина; 11 – шарнир; 12 – рычаг; 13 – стойка; 14 – основание</p>	<p>Машина для вибрационной обработки гранулированной рабочей средой, содержащая упруго установленную на основании и получающую колебания от вибратора камеру и размещенное внутри камеры устройство для транспортирования обрабатываемых деталей, смонтированное на стенках камеры с возможностью совершения колебательных движений. С целью обеспечения обработки деталей со всех сторон и повышения ее производительности, устройство для транспортирования выполнено в виде трубы, сформованной из проволоочного материала, образующего сетку с ячейками, размеры которых больше гранул рабочей среды.</p> <p>Труба одним из концов присоединена к стенке рабочей камеры посредством введенного в устройство двуплечего рычага, шарнирно соединенного с трубой, камерой и основанием.</p>
[39]	 <p>1 – корпус; 2 – контейнер; 3 – нижняя крышка; 4 – верхняя крышка; 5 – нижняя входная горловина; 6 – верхняя выходная горловина; 7 – стержень; 8, 9 – шарнир; 10 – стяжка; 11 – вибровозбудитель; 12 – гибкая передача; 13, 14 – вкладыш; 15 – изделие; 16 – шарик; 17 – оболочка</p>	<p>Вибромашина для обработки поверхности длиномерных изделий, включающая основание и связанный с ним вертикально расположенный составной контейнер, получающий колебания от вибропривода и содержащий расширяющуюся кверху эластичную оболочку, выполненную с обеспечением возможности перемещения обрабатываемого изделия сквозь ее загружаемую рабочей средой рабочую полость. С целью повышения производительности процесса обработки, контейнер снабжен соединенными с верхним и нижним концами оболочки крышками, при этом боковая поверхность оболочки выполнена по форме однополостного усеченного снизу гиперboloида, а крышки дополнительно шарнирно соединены между собой посредством упругих охватывающих оболочку несущих стержней, расположенных по образующим гиперboloида и удерживаемых с наклоном в одну сторону при помощи присоединенных к крышкам гибких упругих стяжек, расположенных поверх стержней с наклоном, обратным их наклону, при этом верхняя крышка жестко соединена с основанием, а вибропривод смонтирован на нижней крышке.</p>



Продолжение табл. 1

Авторы	Конструкция	Формула изобретения
[40]	 <p>1 – контейнер; 2, 3 – съемная крышка; 4 – упругий элемент; 5 – подшипниковые опоры; 6 – вал; 7 – дебаланс; 8, 9 – вал; 10, 11 – подшипник; 12, 13 – барабан; 14 – муфта; 15 – рычаг; 16 – груз; 17 – входное отверстие; 18 – выходное отверстие; 19, 20 – уплотнение; 21 – изделие</p>	<p>Вибрационный станок для непрерывной обработки длинномерных изделий типа гибких нитей, содержащий снабженный источником колебаний контейнер, внутри которого размещен намоточный барабан. С целью расширения технологических возможностей, в контейнере установлен дополнительный барабан, при этом каждый из барабанов выполнен в виде двух решетчатых оснований, соединенных между собой параллельно расположенными стержнями.</p>
[41]	 <p>1 – дно, 2 – вибровозбудитель; 3 – пружина; 4 – основание; 5 – обечайка; 6 – карман; 7 – уплотнитель; 8 – деталь; 9 – рабочая среда</p>	<p>Контейнер состоит из упруго установленной на основании обечайки с вибровозбудителем и жестко установленных на основании торцевых стенок. Последние имеют сквозные окна с уплотнителями и карманы, днища которых выполнены с наклоном под углом 35-55° в сторону обечайки. Дно обечайки выполнено из половинки разрезанного по осевой линии многозаходного винтового барабана, смонтированного из секций одинаковой площади. Секции собраны по периметру из разнонаклоненных друг к другу равносторонних треугольников, соединенных между собой двумя сторонами. Каждая секция соединена с другой секцией свободными сторонами треугольников. Такая конструкция способствует повышению степени упрочнения поверхностного слоя деталей за счет сжатия рабочей среды в процессе обработки по всей длине обечайки.</p>



Продолжение табл. 1

Авторы	Конструкция	Формула изобретения
[42]	<p>1 – неподвижное уплотнение; 2 – подвижное уплотнение; 3 – штанга; 4 – привод осевого перемещения; 5 – привод ударных импульсов; 6 – привод круговых колебаний; 7 – рабочая среда; 8 – пружина</p>	<p>Формула изобретения</p> <p>Способ вибрационной обработки внутренней поверхности длинномерных деталей гранулированной рабочей средой, при котором последнюю, размещают в полости обрабатываемой детали между двумя уплотнениями, посредством которых рабочую среду сжимают, после чего ей сообщают возвратно-поступательные перемещения вдоль обрабатываемой детали. С целью расширения технологических возможностей, рабочую среду берут в виде полированных шариков, сжимают; давлением 0,1-0,2 кгс/см², затем сообщают ей круговые колебания с частотой $n=3-5$ Гц и угловой амплитудой 2,5-3°, а возвратно-поступательные перемещения рабочей среде сообщают в виде ударных импульсов с частотой 30-50 Гц при продольной подаче 400-600 мм/мин.</p>

следует обратить внимание, что, в основном, в рассмотренных конструкциях происходит обработка одной детали путем протягивания ее через окна в вибрирующем контейнере, что влечет за собой задачу устранения просыпания гранул рабочей среды через окна контейнера. При этом вибрационную обработку лишили ее основного преимущества, связанного с возможностью одновременной обработки множества деталей.

Необходимо исследовать возможность использования серийного оборудования для обработки длинномерных деталей, под которыми понимается деталь, соизмеримая по длине с длиной контейнера. При конструировании нового оборудования, в том числе проходного типа, следует учитывать чувствительность длинномерных деталей к изменению поведения рабочей среды в поперечном сечении по длине контейнера.

Литература

1. www.rosler.ru
2. www.walther-trowal.com
3. Вибрационные станки для обработки деталей / А. П. Бабичев, В. Б. Трунин, Ю. М. Самодумский и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 168 с.
4. Берник П. С. Вибрационные технологические машины с пространственными

колебаниями рабочих органов / П. С. Берник, Л. В. Ярошенко. – Винница, 1998. – 116с.

5. Опирский Б. Я. Новые вибрационные станки: конструирование и расчет / Б. Я. Опирский, П. Д. Денисов – Львов: Свит, 1991. – 160 с.

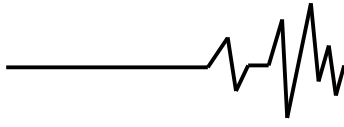
6. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / Карташов И. Н., Шаинский М. Е., Власов В. А. и др. – К.: Высшая школа, 1975. – 179 с.

7. Кулаков Ю. М. Отделочно-зачистная обработка деталей / Ю. М. Кулаков, В. А. Хрульков. – М.: Машиностроение, 1979. – 216 с.

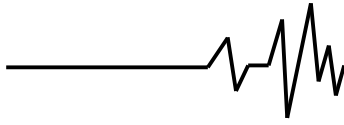
8. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора вентилятора. Часть I / В. А. Богуслаев, Ф. И. Муравченко, П. Д. Жеманюк и др. – Запорожье: ООО «Мотор Сич», 2003. – 396 с.

9. Пшеничный И. Н. Расширение технологических возможностей обработки деталей в вибрирующих контейнерах: дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01 / Пшеничный Игорь Николаевич. – Луганск, 2004. – 265 с.

10. Николаенко А. П. Исследование зависимости интенсивности вибрационной обработки от расположения вибровозбудителя / А. П. Николаенко, М. А. Калмыков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 2/5(38). – С. 54 – 57.



11. Шаинский М. Е. Устройство для разрушения слипшихся в пакеты деталей при виброобработке / М. Е. Шаинский, Н. В. Фальченко, В. А. Власов // Труды Всесоюзного научно-технического семинара «Виброобразивная обработка деталей». – Ворошиловград, 1978. – С. 167-170.
12. Патент на корисну модель №19628 Україна, МПК В24В 31/06. Пристрій для вивантаження і розділення робочого середовища після вібраційної обробки / Ю. М. Букаранов, С. В. Корнєєв, М. О. Калмиков, С. М. Ясунік. – № U2006 07897. – Заявл. 14.07.06; Опубл. 15.12.06; Бюл. № 13. – 4 с.
13. www.agattech.com
14. Зверовщиков А. В. Совершенствование технологии шпиндельной обработки деталей при уплотнении шлифовального материала внешним давлением: дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Зверовщиков Анатолий Владимирович; Пензенский гос. ун-т. – Пенза, 2004. – 270 с.
15. Лубенская Л. М. Особенности шпиндельной обработки деталей в среде свободного абразива / Л. М. Лубенская, Е. В. Нечай, Г. Ю. Бурлакова // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 4 (56). – С. 97 – 102.
16. Лубенська Л. М. Основи вібраційної технології: навч. пос. / Л. М. Лубенська, М. О. Калмиков, С. М. Ясунік. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Дала, 2009. – 284 с.
17. Объемная вибрационная обработка / И. Е. Бурштейн, В. В. Балицкий, А. Ф. Духовский и др.; под ред. И. Е. Бурштейна. – М.: ЭНИМС, 1977. – 108 с.
18. Міцик А. В. Підвищення ефективності обробки великогабаритних плоскісних виробів активізацією руху робочого середовища у коливних U-подібних контейнерах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Міцик Андрій Володимирович. – Х., 2008. – 20 с.
19. Бабичев А. П. Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. – Ростов-на-Дону, 2008. – 694 с.
20. Копылов Ю. Р. Виброударное упрочнение: моногр. / Ю. Р. Копылов. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 1999. – 386 с.
21. Калмыков М. А. Повышение эффективности процесса вибрационной обработки крупногабаритных изделий: дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01 / Калмыков Михаил Александрович. – Луганск, 2005. – 223 с.
22. Лубенская Л. М. Вибрационная обработка деталей сферических форм / Л. М. Лубенская, Д. В. Молчанов, А. В. Романченко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2007. – №3(48). – С. 49 – 52.
23. Бранспиз Е. В. Обработка крупногабаритных деталей в вибрационных контейнерах / Е. В. Бранспиз, Д. В. Молчанов, А. В. Романченко // Вопросы вибрационной технологии: межвуз. сб. науч. статей. – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 81 – 84.
24. Бранспиз Е. В. Повышение эффективности виброобразивной обработки путем рационального выбора ее основных параметров: дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01 / Бранспиз Елена Владимировна. – Луганск, 2002. – 265 с.
25. А.с. 952544 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / А. П. Бабичев, Э. С. Комбай, И. Н. Левин, В. Н. Щербаков, Т. Н. Рысева (СССР). – № 2991674/25-08: Заявл. 09.10.80; Опубл. 23.08.82; Бюл. №31. – 2 с.
26. А.с. 1227433 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для обработки поверхности длинномерных деталей гранулированной рабочей средой / А. П. Бабичев, М. А. Тамаркин, В. А. Самадунов, И. А. Бабичев, А. В. Коровайко, Б. Н. Мельников (СССР). – № 3775262/25-08: Заявлено 30.07.84; Опубл. 30.04.86; Бюл. №16. – 2 с.
27. А.с. 1360973 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / А. П. Бабичев, В. С. Сердюков, Ю. П. Анкудимов, В. В. Анипченко, М. А. Сергеев, А. Б. Коровайко (СССР). – №4095697/31-08; Заявл. 18.07.86; Опубл. 23.12.87. Бюл. № 47. – 3 с.
28. А.с. 1549726 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / А. П. Бабичев, В. С. Сердюков, В. Г. Санамян, М. А. Сергеев, А. Б. Коровайко, И. А. Бабичев. – № 4458586/31-03; Заявл. 26.05.88; Опубл. 15.03.90. Бюл. №10. – 3 с.
29. А.с. 1458180 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / А. П. Бабичев, В. С. Сердюков, В. Г. Санамян, М. А. Сергеев, А. Б. Коровайко. – № 4289704/31-08; Заявл. 27.07.87; Опубл. 15.02.89. Бюл. №6. – 2 с.
30. А.с. 1641588 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Способ вибрационной обработки длинномерных деталей / А. П. Бабичев, В. С. Сердюков, И. А. Бабичев, И. Г. Константинов, А. Б. Коровайко. – № 4620900/08; Заявл. 15.12.88; Опубл. 15.04.91. Бюл. №14. – 2 с.
31. А.с. 1773692 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки крупногабаритных плоских деталей /



- А. В. Андрюков. – № 4701594/08; Заявл. 08.06.89; Оpubл. 07.11.92. Бюл. №41. – 4 с.
32. А.с. 1437195 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / А. П. Бабичев, В. С. Сердюков, Ю. П. Анкудимов, В. А. Самадунов, И. Г. Варломова, И. В. Анохина. – № 4072696/31-08; Заявл. 03.06.86; Оpubл. 15.11.88. Бюл. №42. – 4 с.
33. А.с. 1328167 СССР, МКИ В 24 В 31/104. Устройство для абразивной обработки деталей / В. И. Пушкин, Н. А. Черепнин. – № 3982523/25-08; Заявл. 02.12.85; Оpubл. 07.08.87. Бюл. №29. – 2 с.
34. Патент 2286239 Россия, МПК В24В31/06. Устройство для вибрационной обработки деталей / В. О. Трилиссский, В. В. Панчурин, Г. С. Большаков. – № 2005126278/02; Заявл. 18.08.05; Оpubл. 27.10.06.
35. А.с. 1110614 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Вибрационный станок для обработки длинномерных изделий / В. С. Сердюков, В. Г. Санамян, С. Д. Кононенко. – № 3599738/25-08; Заявл. 27.06.83; Оpubл. 30.08.84. Бюл. №32. – 3 с.
36. А.с. 804391 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Вибрационная машина для обработки длинномерных и крупногабаритных изделий / П. Д. Денисов, Н. Ф. Брайлян, В. М. Кунин. – № 2749418/25-08; Заявл. 09.04.79; Оpubл. 15.02.81. Бюл. №6. – 2 с.
37. А.с. 806379 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Вибрационная машина для обработки длинномерных и крупногабаритных изделий / П. Д. Денисов, Н. Ф. Брайлян, В. М. Кунин. – № 2761613/25-08; Заявл. 03.05.79; Оpubл. 23.02.81. Бюл. №7. – 2 с.
38. А.с. 897481 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Машина для вибрационной обработки гранулированной рабочей средой / Б. Г. Варфоломеев, Н. Е. Портнов, Д. И. Архангельский. – № 2916250/25-08; Заявл. 30.04.80; Оpubл. 15.01.82. Бюл. №2. – 2 с.
39. А.с. 944887 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Вибромашина для обработки поверхности длинномерных изделий / А. П. Субач, А. Я. Лац, Я. А. Алнис. – № 2927674/25-08; Заявл. 21.05.80; Оpubл. 23.07.82. Бюл. №27. – 4 с.
40. А.с. 1006180 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Вибрационный станок / И. Ф. Гончаревич, М. Е. Медведев, М. И. Пряхин, В. В. Пихотенко, Л. И. Тусаева. – № 3001032/25-08; Заявл. 06.11.80; Оpubл. 23.03.83. Бюл. №11. – 3 с.
41. Патент 2228252 Россия, МПК В24В31/06. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев, Г. В. Серга. – № 2002135225/02; Заявл. 25.12.02; Оpubл. 10.05.04.
42. А.с. 1315254 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Способ вибрационной обработки внутренней поверхности длинномерных деталей / А. П. Бабичев, В. В. Дятлов, И. А. Бабичев, М. А. Тамаркин, А. Б. Коровайко. – № 3931635/31-08; Заявл. 20.05.85; Оpubл. 07.06.87. Бюл. №21. – 2 с.
43. Зачистка трубных деталей металлоконструкций вибрационным способом / П. П. Королев, В. Д. Барлет, В. П. Дубовик, В. Г. Омельченко, З. В. Моклякова // Тезисы докладов Всесоюз. научн. конф. «Вибрационная техника в машиностроении и приборостроении». – Львов, 1973. – С. 220-221.