

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-97-112

Марусич К.В., Дружинин В.И.Оренбургский государственный университет***E-mail: mkv82@mail.ru*

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ МОБИЛЬНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. Ремонт крупногабаритных изделий вне специализированного ремонтного предприятия зачастую недостижим из-за невозможности обеспечить высокую точность при выполнении механической обработки. Но при этом следует учитывать, что демонтаж и перемещение крупногабаритных изделий до ремонтного предприятия существенно увеличивают простой восстанавливаемого оборудования или в принципе это технически невозможно выполнить. Специализированные станки, которые используются для ремонта крупногабаритных изделий на таких предприятиях, являются уникальными и дорогостоящими. Они имеют достаточно высокую степень загрузки на предприятии, что может привести к различным рискам, связанным со сроками проведения ремонта. Поэтому в первую очередь необходимо сокращать сроки операций демонтажа, перемещения и обработки крупногабаритных изделий. В связи с этим отказ от этих операций в пользу применения мобильных станков позволит существенно сократить сроки и стоимость ремонтов труднодоступного габаритного оборудования. В статье рассмотрены отечественные и иностранные достижения в области мобильных станков и систем, которые применяются для технического обслуживания и механической обработки крупногабаритных изделий на месте без демонтажа. Описан ряд конструкций специализированных мобильных станков для применения в различных отраслях промышленности.

Ключевые слова: станок, мобильный, приставной, переносной, механическая обработка.

Введение. Крупные технические сооружения, например, нефтегазовые установки, рассчитаны на длительный срок службы. За это время неизбежны техобслуживание и ремонт. В отношении всего срока службы добавленная стоимость, связанная с этими работами, часто превышает затраты на первоначальную установку. Чтобы гарантировать доступность, производительность и качество промышленных предприятий, современные компании нуждаются в новых подходах к техническому обслуживанию [1, 2].

В ремонтных работах часто используются крупногабаритные и функционально важные изделия сложной геометрии [3]. Поэтому работа должна выполняться с высокой точностью. Раньше для обработки крупногабаритных изделий их приходилось снимать и перевозить на ремонтные предприятия. Этот процесс включает в себя ряд различных недостатков:

- высокие транспортные расходы;
- высокий риск повреждения при транспортировке;
- возможные проблемы на таможенных границах;
- длительные простои оборудования во время ремонта и т. д.

Одним из направлений в машиностроении является ориентация на крупномасштабные технические системы. Если используется обычная обработка, большие заготовки должны размещаться внутри рабочего пространства станка, что

может привести к крайним диспропорциям между теоретически подходящим и действительно необходимым размером системы. Следовательно, во многих случаях происходит неэффективное использование ресурсов. Практический подход к решению проблемы - использование небольших мобильных установок для выполнения таких операций механической обработки [4–7]. Эта концепция преследуется по двум аспектам. Во-первых, локальная мобильность, которая означает размещение небольших обрабатывающих агрегатов локально на обрабатываемой области заготовки. Во-вторых, глобальная мобильность, которая проявляется в транспортабельности обрабатывающих агрегатов между разными участками работы.

Основная часть. В связи с постоянно растущим разнообразием потребностей в производстве и техническом обслуживании современной продукции сфера проектирования станков значительно расширилась. В последнее время всё чаще стали применяться мобильные станки для обработки изделий без их демонтажа. В работе [8] представлена конструкция и принцип работы мобильного устройства, позволяющего производить без демонтажа шлифовку продольных направляющих суппорта токарных, расточных станков, в том числе больших габаритов. Основные принципиальные особенности устройства: направляющие качения расположены на жесткой

регулируемой рамной конструкции, стойки которой расположены вокруг ремонтируемого станка, конструкция траверсы позволяет осуществлять поворот рабочего органа, настройка всей системы осуществляется лазерным интерферометром, имеется возможность установки нескольких инструментальных головок. Рамная конструкция устройства при малой материалоемкости обладает высокой жесткостью. Конструкция разработанного устройства имеет возможность установки неограниченного количества опор и нескольких шпинделей, что позволяет производить обработку нескольких направляющих любой длины и ширины без переналадки. Наличие опции поворота шпинделя позволяет обрабатывать призматические направляющие.

Мобильный фрезерный станок для обработки поверхностей станин клетей прокатных станов [9] имеет конструкцию, позволяющую в короткие сроки выставить станок в проектное положение и выполнить обработку опорной горизонтальной поверхности за одну установку с высокой точностью и при этом увеличить производительность выполняемых работ. Вариантность настройки положения редуктора и мотора привода вращения шпинделя (возможность вертикально-продольного перемещения) улучшает маневренность фрезерной головки в стесненных условиях (ограниченном пространстве) и дает возможность использовать станок для фрезерования агрегатов разных размеров. Конструкция станка позволяет выполнять работы по фрезерованию горизонтальных поверхностей, расположенных как в нижнем, так и в потолочном положении. Предлагаемая конструкция фрезерного

станка снижает финансовые затраты при фрезеровании станин различных типоразмеров за счет уменьшения трудозатрат по причине осуществления фрезерования за одну установку.

Существует ряд мобильных (переносных) станков, предназначенных для выполнения определенных задач. В работе [10] станок предназначен для срезки сварного шва наружной защитной герметизирующей крышки, удаления отрезанной круглой части крышки, а также позволяет восстановить привалочный профиль основания корпуса металлобетонных контейнеров для приварки новой наружной защитной герметизирующей крышки.

Переносной станок [11] для обработки, преимущественно, крупногабаритных деталей предназначен для обработки массивных деталей в виде тел вращения и/или обладающих радиальной (аксиальной) симметрией. В предложенном решении отсутствует несущая станина. Для обработки детали станок (рис. 1) крепится непосредственно на деталь 13 (заготовки направляющих баз экскаватора). Траверса соединена с центральной опорой 1. Диаметрально к опоре 1 установлена платформа противовеса со съемными грузами. На траверсе 3 расположены горизонтальные и вертикальные салазки, которые выполнены подвижными. Их перемещение осуществляется за счет передач «трапецеидальный винт-гайка». В качестве двигателей подачи используются синхронные шаговые двигатели. В работе [12] представлена другая конструкция мобильного станка для восстановления отверстия.

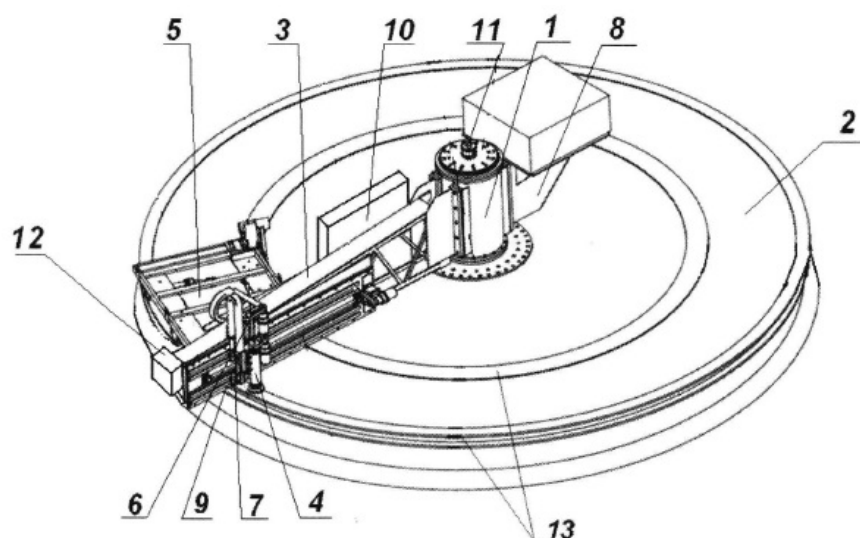


Рис. 1. Переносной станок для обработки, преимущественно, крупногабаритных деталей [11]:
 1 – центральная опора; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – траверса; 4 – шпиндельный блок; 5 – блок радиального перемещения; 6 – вертикальные салазки; 7 – горизонтальные салазки; 8 – противовес; 9 – механизм поджима траверсы к детали; 10 – электрический шкаф; 11 – кольцевой токосъемник; 12 – пульт управления;
 13 – обрабатываемые направляющие

Далее представлена группа приставных станков для обработки зубьев крупногабаритных зубчатых колес [13–15]. Приставной зубофрезерный станок (рис. 2) для обработки зубьев крупногабаритных зубчатых колес прямозубого зацепления направлен на обеспечение точности обработки профиля зуба прямозубого зацепления не зависимо от размерности модуля, диаметра зубчатого колеса, без демонтажа на месте эксплуата-

ции, что позволяет значительно сократить трудоемкость и сроки простоя оборудования в ремонте. Станок содержит корпус 1 с механизмами продольного перемещения 2 и вращения 3 фрезы 4. В корпусе станка имеются четыре регулируемые опоры 5, при помощи которых станок выставляется и крепится на корпусе зубчатого колеса 6 относительно поверхности обрабатываемого зуба.

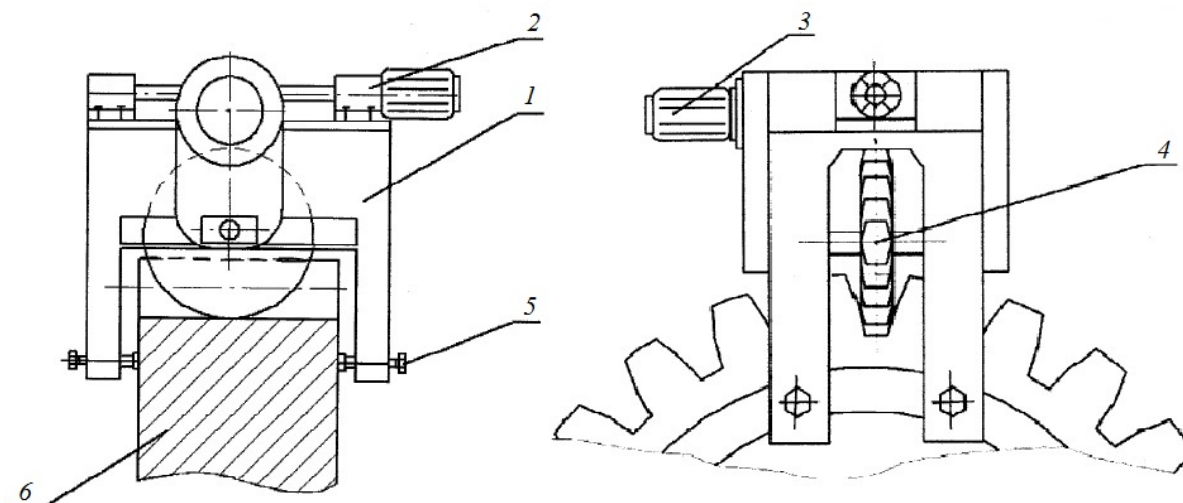


Рис. 2. Приставной зубофрезерный станок (Пат. 103505) [13]

В промышленности часто возникает необходимость обработки загрузочных цапф помольных мельниц [16–18]. В процессе загрузки материала происходит износ внутренней поверхности цапфы. Обработать такую поверхность можно специальным приставным станочным модулем (рис. 3). Для этой цели был сконструирован и изготовлен ряд станков для обработки деталей цементных печей: приставной станок для обработки бандажей и опорных роликов [19], встраиваемый станок для обработки цапф шаровых мельниц [20], станок для обработки внутренних поверхностей тел вращения большого диаметра без их демонтажа [21], мобильный станок для обработки крупногабаритных изделий [22]. Одним из наиболее широко используемых является станок УВС-01 (универсальный встраиваемый станок), обрабатывающий с одной установки бандаж и опорный ролик (рис. 4). Он получил сертификат качества Госстандарта РФ и внесен в каталог металлорежущих станков РФ (инв. № 12.06.01) [23].

Для обслуживания судовых двигателей и энергетических систем на месте был разработан ряд специализированных машин, поскольку их разборка и снятие с корабля для ремонта непрактично, а в некоторых случаях почти невозможно. В работе [24, 25] предлагается использовать с целью ремонта валов крупнотоннажных морских судов переносной малогабаритный станок, который используют для токарных обработок рабочих поверхностей качения цементных мельниц.

В следующей работе [26] представлена установка для восстановления на месте коленчатых валов и пальцев. Конструкция включает систему кронштейнов, которая временно прикрепляется к пластинам кривошипа и поддерживает пару орбитальных колес с установленным между ними станком. Эта система позволяет станку вращаться вокруг заготовки по орбите во время обработки. Другая установка [27] разработана для операций по техническому обслуживанию паротурбинных двигателей морских судов. Она позволяет удалять заедающие шпильки (рис. 5). Станок также может быть оснащен резьбонарезными инструментами для восстановления резьбы или, в случаях, когда окружающий материал был поврежден, подготовить отверстие для резьбовой вставки.

Существуют разнообразные конструкции мобильных станков, используемые при восстановлении колёсных пар железнодорожного транспорта [28–30]. В работах [31, 32] представлена разработка опытного образца мобильного токарного станка для обточки колёсных пар без выкатки из-под вагона электропоезда. В отличие от аналогов (станок WTL 8100-1 американской компании Delta Manufacturing [33] и мобильное устройство 1AK200-ZIP, разработанное эстонской компанией ENDORFIN Ltd.) мобильный станок не требует специально оборудованной площадки для обточки колёсных пар. Устранение

неисправностей бандажей (колес), появляющихся в процессе эксплуатации, производится без выкатки колеса из-под вагона электропоезда. Мобильный станок не требует стационарного источника питания, его можно использовать там, где имеется асфальтированная или бетонированная площадка на уровне головки рельса. Станок

схематично показан на рис. 6. При обточке колеса вагона имеется возможность регулировки глубины резания, после обточки за один проход диаметр бандажа (колеса) уменьшается на величину от 0,5 до 2 мм.

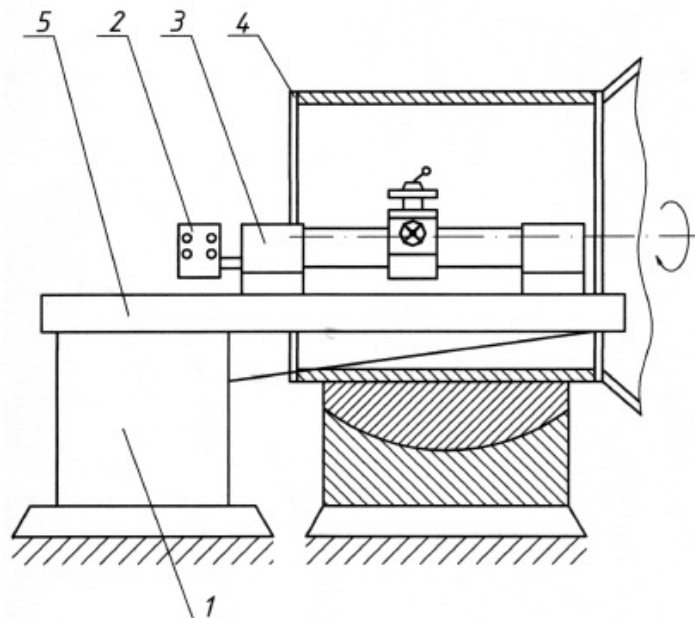


Рис. 3. Схема установки специального приставного станочного модуля для обработки внутренней поверхности цапфы [17]:

1 – силовой стол; 2 – пульт управления; 3 – станок; 4 – цапфа; 5 – плита



Рис. 4. Универсальный встраиваемый станок УВС-01 (А.С. №1306648) [23]

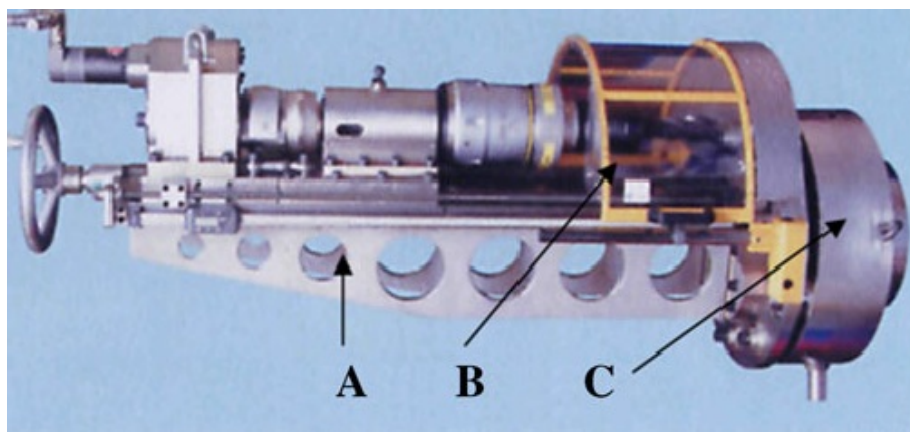


Рис. 5. Устройство для удаления заедающих шпилек и восстановления резьбы на месте [27]:

А – крепление к станку; В – режущий блок; С – обрабатываемая заготовка

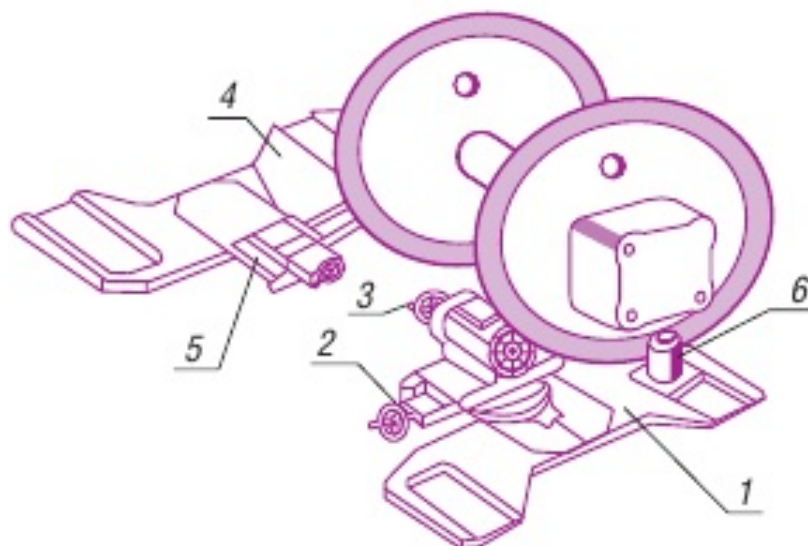


Рис. 6. Общий вид мобильного станка с колёсной парой [31]:

1 – переносная станина; 2 – суппорт; 3 – привод; 4 – реостат; 5 – мобильный источник питания; 6 – гидравлический домкрат

Мобильный станок (рис. 7) содержит два соединенных между собой основания. На каждом основании закреплены средства крепления к рельсу, опорная плита с поперечными направляющими и оборудованный режущим инструментом суппорт [34]. Каждый суппорт установлен на салазках, образованных нижней и верхней каретками. Нижняя каретка перемещается по продольным направляющим и снабжена поперечными направляющими, по которым перемещается верхняя каретка. Привод салазок образован нижней и верхней шарико-винтовыми парами (ШВП). Винты указанных пар, соответственно, расположены под нижней и верхней каретками между поперечными и продольными направляющими. Привод салазок

подключен к системе числового программного управления серводвигателями, один из которых закреплен на боковой поверхности опорной плиты и подключен к нижнему винту, а другой – на боковой поверхности нижней каретки и подключен к верхнему винту.

В работе [35] представлена специализированная ремонтная машина предназначенная для переточки на месте опорных поверхностей рельсов. Станок включает шлифовальный круг, приводимый в движение двигателем. Положение ходовых винтов определяется набором датчиков перемещения, которые следуют за направляющими, определяющими профиль подлежащий шлифованию.

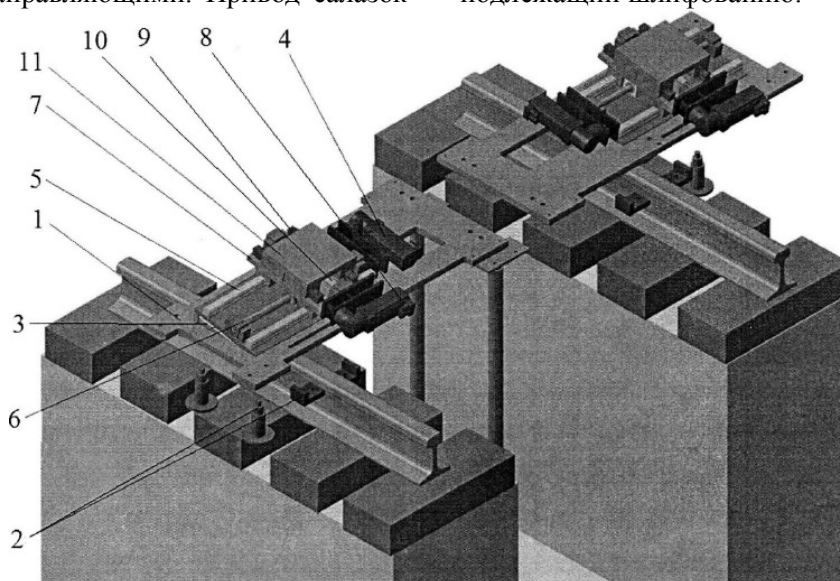


Рис. 7. Мобильный станок для обточки железнодорожных колёсных пар (Пат. 185997) [34]:

1 – основание; 2 – крепление (кронштейны и шпильки); 3 – наклонная опорная плита; 4 – серводвигатель; 5 – верхние продольные направляющие; 6 – винт нижней ШВП; 7 – нижняя каретка; 8 – серводвигатель; 9 – верхние поперечные направляющие; 10 – винт верхней ШВП; 11 – верхняя каретка

В СССР были разработаны переносные станки для обработки концов труб, используемых в нефтегазовой промышленности [36–39]. Станок [39] крепится в обрабатываемой трубе, включаются приводы осевой подачи и вращения инструментальной головки. Он расширяет технологические возможности путём обеспечения снятия как наружной, так и внутренней фасок разжимного профиля и исключения влияния формы трубы на качество обработки.

В работе [40] переносной станок предназначен для механической обработки уплотнительных поверхностей, преимущественно в затворах

корпусов и на напорных элементах (клиньях, дисках, золотниках) фланцевых задвижек и вентилей в период их ремонта. Станок (рис. 8) содержит привод, планшайбу с кареткой и резцом 3, полулю борштангу 2 со шпинделем в её внутренней полости. Шпиндель и борштанга соединены между собой кинематически: с одной стороны, через планшайбу и каретку, несущую резец, с другой стороны через привод, шестерни, разъемные муфты, дифференциальный механизм. Предложенная кинематическая схема с одним приводом для вращения борштанги с резцом и для радиального перемещения резца позволит создать компактную головку с минимальной массой.

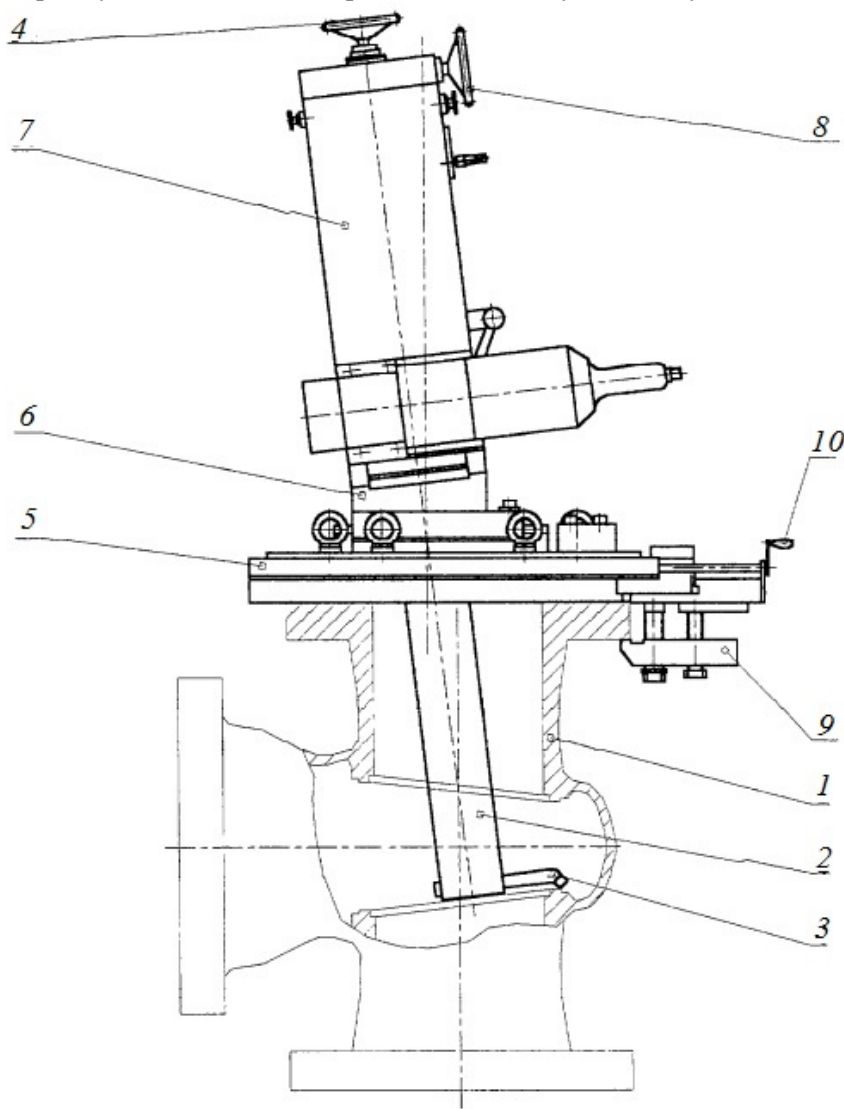


Рис. 8. Переносной станок для обработки уплотнительных поверхностей (Пат. 2144449) [40]:
 1 – корпус задвижки; 2 – борштанга; 3 – резец; 4 – маховик ручной подачи резца; 5 – стол; 6 – угловой шаблон;
 7 – головка с механизмом осевого перемещения; 8 – маховик осевого перемещения; 9 – прихват;
 10 – рукоятка зажима прихвата

Переносной станок (рис. 9) предназначен для механической обработки седел клиновых и шиберных задвижек без удаления их с трубопроводов [41]. Он состоит из устройства 1 крепления станка на задвижке, суппорта 2, направляющей 3, закрепленной в суппорте

станка с возможностью её перемещения параллельно и перпендикулярно обрабатываемой поверхности, редуктора с двигателем 4, установленным на направляющей, блока шестерен 5, зубчатого колеса 6 с радиальным пазом, имеющим форму

поперечного сечения «ласточкин хвост», зубчатого колеса 7 с выступом на торце, выполненного по архимедовой спирали, клиноремной передачи 8, передающей вращение от валаредуктора на вал блока

шестерен 5, и резцедержателя 9 с резцом, установленного в радиальном пазу зубчатого колеса 6 и соединенного с выступом на торце зубчатого колеса 7.

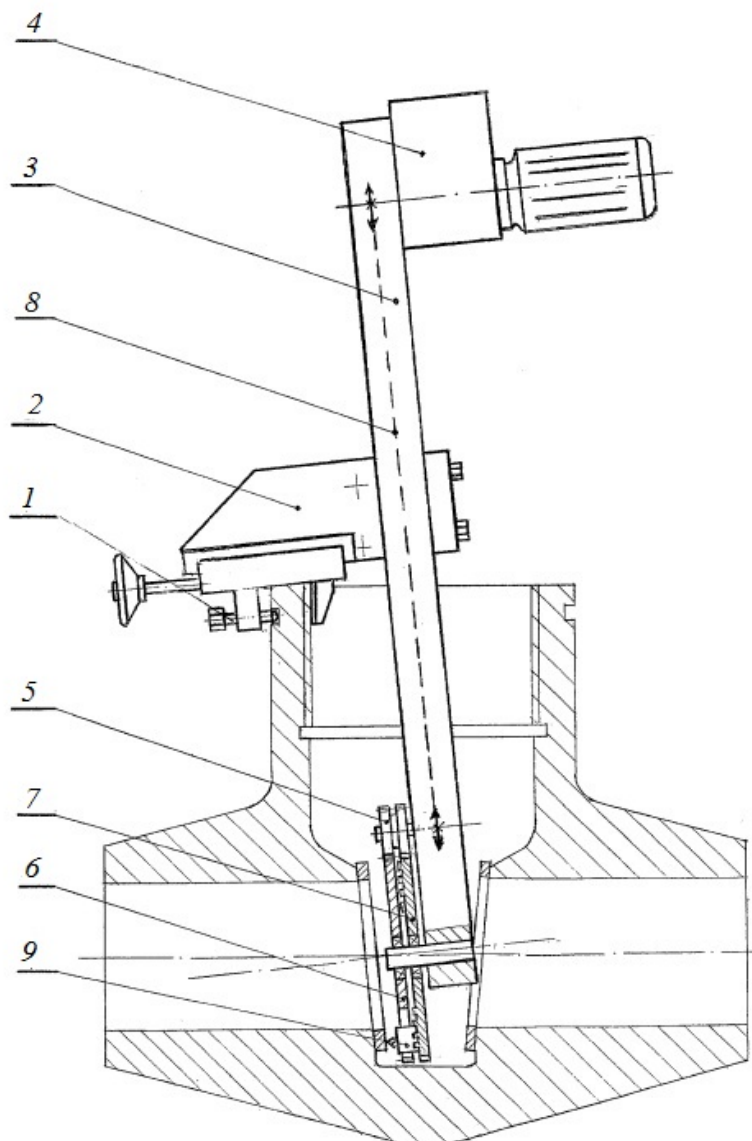


Рис. 9. Переносной станок (Пат. 46696) [41]

В работах [42, 43] приведены результаты опытно-конструкторской работы мобильного труборезного станка модели СТМ 1270-70 с электромеханическим приводом и системой управления резанием СУР-1200. Мобильный станок имеет токарный принцип обработки кромки трубы (рис. 10). Применение токарных резцов в качестве обрабатывающего инструмента обеспечивает высокую чистоту поверхности. Конструкция разъемной рамы корпуса позволяет быстро установить станок на любом прямолинейном участке трубы. Обработка (отрезка или формирование фаски на кромке трубы) производится двумя резцами. Специально спроектированный

профиль режущей кромки фасонных резцов позволяет получить ступенчатые кромки за один установ. Наличие двух резцов позволяет одновременно производить отрезку и формировать фаску на обрабатываемой трубе.

Анализ параметров существующего оборудования показал, что наиболее распространенными и применяемыми в нефтяной и газовой отрасли являются станки труборезные и кромкострогальные SUPERCUTTER [44], собираемые в России компанией СКТБ «Юнифос» [45] по лицензии G.B.C. Industrial Tools [46], и станки HD американской компании D.L.RICCI Corp., при помощи которых возможна обработка кромок труб, удовлетворяющих требованиям.

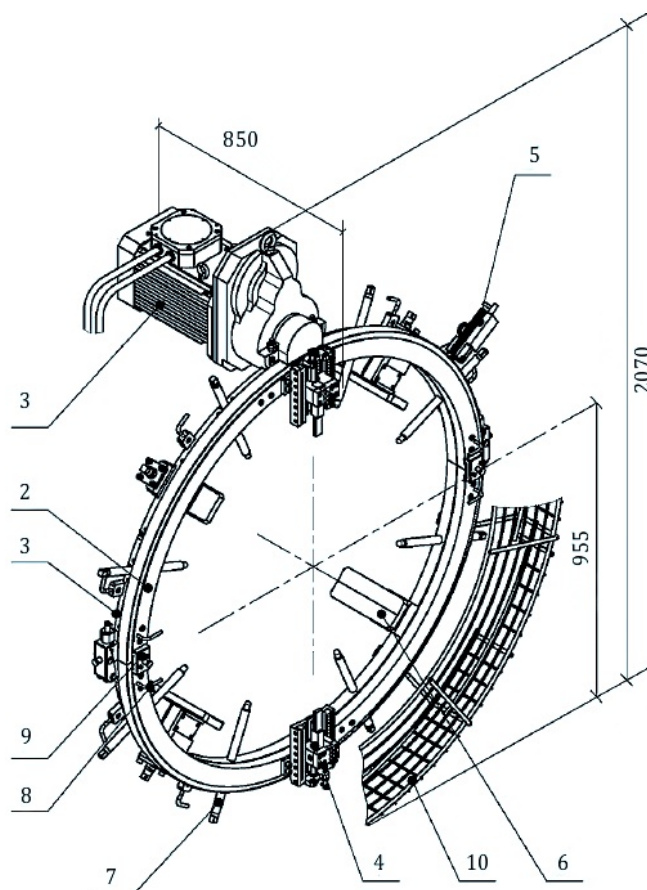


Рис. 10. Общий вид мобильного труборезного станка [42]:

- 1 – корпус (станина); 2 – подвижный разъёмный корпус; 3 – взрывозащищённый электропривод; 4 – суппорт;
 5 – узел механизма подачи резца; 6 – опоры основные выдвижные; 7 – опоры вспомогательные;
 8 – штифт-фиксатор; 9 – планка фиксатор; 10 – защитное ограждение

Другим примером применения мобильных станков для решения сложных задач обработки является использование мобильных параллельных кинематических станков для 5-осевой обработки [47–49]. Их преимущество по сравнению с другими мобильными станками заключается в его полностью параллельной конструкции, которая обеспечивает малый вес и хорошую реализуемость на обрабатываемой детали в сочетании с

потенциалом 5-осевой обработки. Примером использования может служить ремонт ротора газовой турбины, вес которого составляет 15 тонн. Благодаря использованию 5-осевого мобильного станка METROM (рис. 11) удалось осуществить ремонт в 9 раз быстрее за счет отказа от транспортировки изделия вне помещения цеха, а также применения операций фрезерования вместо стандартного подхода (выполнение лазерной сварки с последующей термообработкой) [50].



Рис. 11. Использование мобильного 5-ти осевого станка METROM для ремонта газовой турбины [50]

Использование 5-осевых мобильных станков в качестве модулей дает возможность построения гибких обрабатывающих комплексов с последующей перекомпоновкой под другие задачи при

необходимости. На рис. 12 и 13 приведены примеры концепции проекта по решению задачи обработки сверхгабаритных изделий.

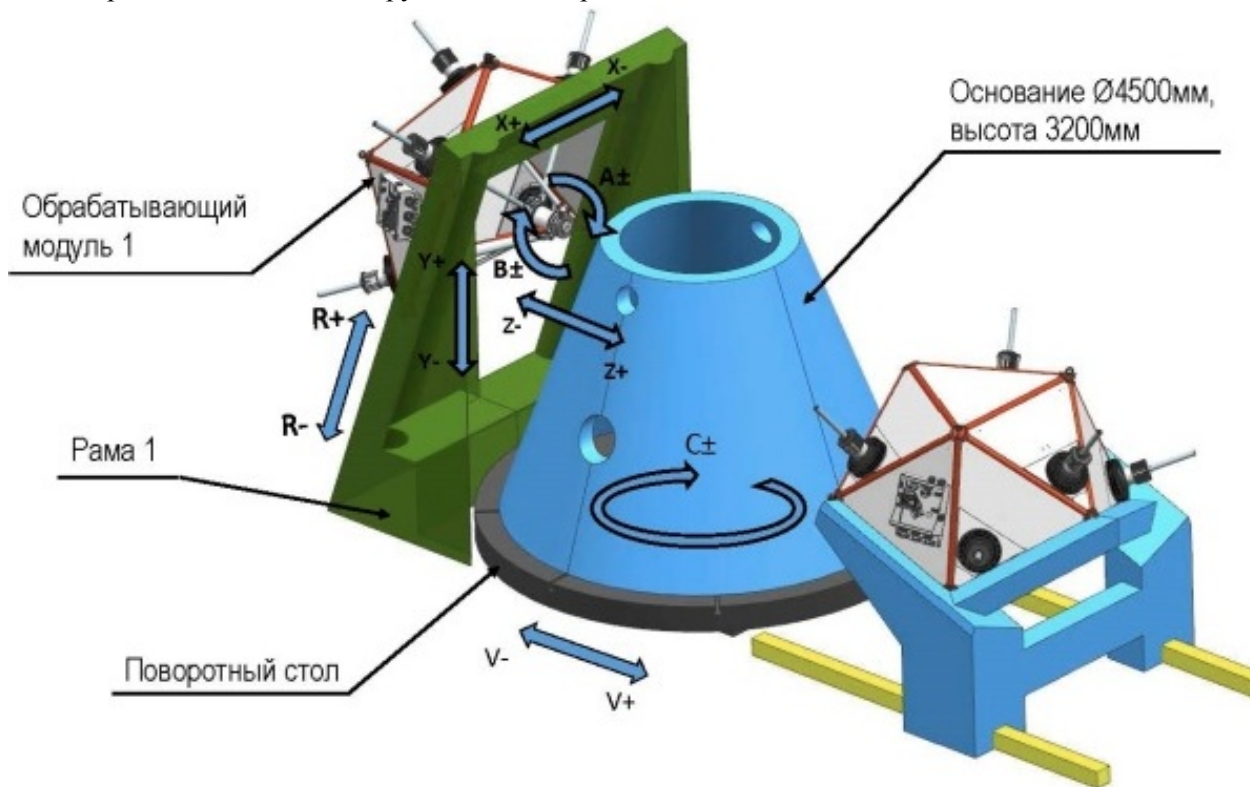


Рис. 12. Обработка изделия типа «усечённый конус» [50]

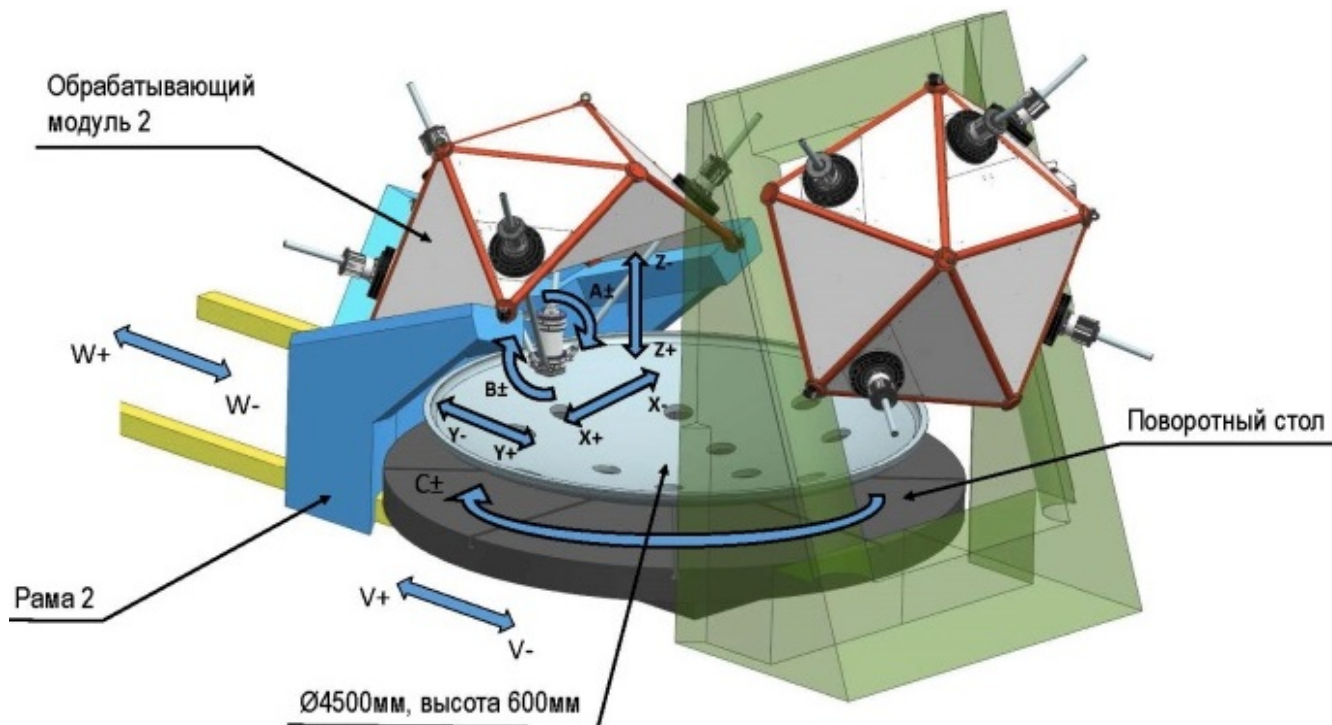


Рис. 13. Обработка изделия типа «усечённый эллипсоид вращения» [50]

Иногда использование высокотехнологичного 5-осевого оборудования нецелесообразно. В

случае выполнения относительно простых операций эффективным инструментом могут стать

станки с простой кинематикой. Среди менее технологичного, но не менее эффективного мобильного оборудования можно выделить решения от

компании MIRAGE MACHINES (рис. 14) – заслуженного лидера в производстве портативных станков для механической обработки [51, 52].

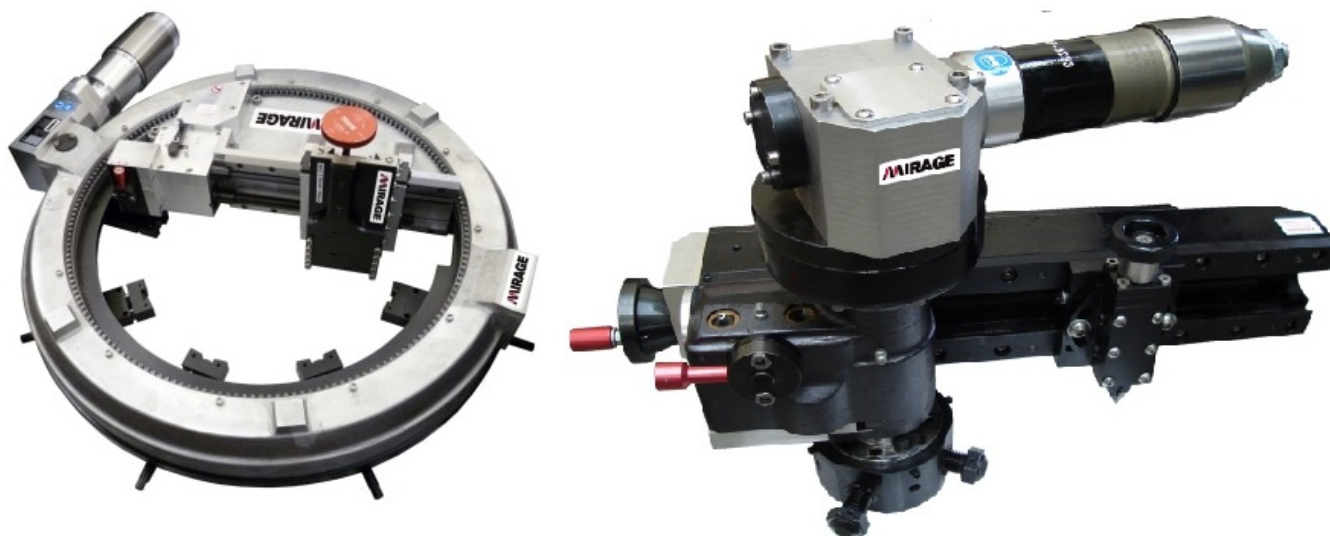


Рис. 14. Мобильные станки для обработки фланцев труб [51, 52]

Выводы: Использование больших традиционных станков для обработки крупногабаритных изделий приводит к большим абсолютным затратам. В большинстве случаев эту проблему можно решить с помощью мобильных станков. Во-первых, потому что станки можно транспортировать к месту обработки детали, а во-вторых, потому что размер их рабочей области не привязан к размерам компонента из-за принципа локального позиционирования обрабатывающего агрегата. Это означает, что небольшой мобильный станок может выполнять обработку деталей на месте, что позволяет избежать их транспортировки и использования больших энергоемких обрабатывающих центров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Okazaki Y., Mishima N., Ashida K. Microfactory - concept, history and developments // *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*. 2004. № 126(4). Pp. 837–844. DOI: 10.1007/s00170-009-2411-2
2. Погонин А.А., Шрубченко И.В. Концепция проектирования встраиваемых станочных модулей для мобильной технологии восстановления // *Горные машины и автоматика*. 2004. № 7. С. 37–39.
3. Uriarte L., Zatarain M., Axinte D., Yague-Fabra J., Ihlenfeldt S., Eguia J., Olarra A. Machine tools for large parts // *CIRP Annals*. 2013. № 62. Pp. 731–750. DOI: 10.1016/j.cirp.2013.05.009
4. Neugebauer R., Priber U., Rentzsch H., Ihlenfeldt S., Hoffmann D. Mobile systems for machining large work pieces // *Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability*

- 4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2011). 2012. Pp. 135–140. DOI: 10.1007/978-3-642-23860-40_22

5. Koriath H.-J., Scheffler C., Kolesnikov A., Paetzold J., Lindner R. Energetische Bilanzierung und Bewertung von Werkzeugmaschinen // *eniPROD Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik*. Germany. 2010. Pp. 157–184.

6. Allen J., Axinte D., Roberts P., Anderson R. A review of recent developments in the design of special-purpose machine tools with a view to identification of solutions for portable in situ machining systems // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2010. № 50. Pp. 843–857. DOI: 10.1007/s00170-010-2559-9

7. Tao B., Zhao X., Ding H. Mobile-robotic machining for large complex components: A review study // *Science China. Technological Sciences*. 2019. Vol. 62. № 8. Pp. 1388–1400. DOI: 10.1007/s11431-019-9510-1

8. Кольцов А.Г., Блохин Д.А., Серков А.С., Баранов В.В. Разработка мобильного устройства для восстановления направляющих крупных металлорежущих станков // *Омский научный вестник*. 2016. № 2 (146). С. 32–35.

9. Пат. 166322, Российская Федерация, МПК В 23 С 1/20. Переносной фрезерный станок для обработки поверхности станины клетей прокатных станков / Д.М. Луговской [и др.]; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество "Северсталь". № 2015148681/02; заявл. 12.11.2015; опубл. 20.11.2016. 2 с.

10. Пат. 2316415, Российская Федерация, МПК В 23 В 5/00. Переносной станок для обработки преимущественно торцевых поверхностей круглых деталей / Г.А. Бородулько [и др.]; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Конструкторское бюро специального машиностроения". № 2006118664/02; заявл. 29.05.2006; опубл. 10.02.2008, Бюл. №4. 2 с.
11. Пат. 142145, Российская Федерация, МПК В 23 В5/00. Переносной станок для обработки, преимущественно, крупногабаритных деталей / А.В. Косякин, С.А. Вдовин, А.С. Вдовин; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Ивстанкопром". № 2013156795/02; заявл. 20.12.2013; опубл. 20.06.2014, Бюл. № 17. 2 с.
12. Boiko P.F., Timiryazev V.A., Khostikoev M.Z., Danilov I. K. Hole restoration in situ using a mobile machine tool, without disassembly // Russian Engineering Research. 2019. Vol. 39. No. 4. Pp. 345-348. DOI: 10.3103/S1068798X19040038
13. Пат. 103505, Российская Федерация, МПК В 23 F1/06. Приставной зубофрезерный станок / М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2010146620/02; заявл. 16.11.2010; опубл. 20.04.2011. 2 с.
14. Пат. 110320, Российская Федерация, МПК В 23 F1/06. Приставной вертикальный зубофрезерный станок / М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина, В.В. Дмитриев; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2011125253/02; заявл. 20.06.2011; опубл. 20.11.2011, Бюл. № 32. 2 с.
15. Пат. 134096, Российская Федерация, МПК В 23 F1/06. Приставной вертикальный зубофрезерный станок для ремонтной обработки прямозубых зубчатых колёс / М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина, С.А. Смирных; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова". № 2013127699/02; заявл. 18.06.2013; опубл. 10.11.2013, Бюл. № 31. 2 с.
16. Погонин А.А. Теоретическое обоснование возможности восстановления поверхностей катания крупногабаритных деталей с использованием приставных станочных модулей // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2007. №1. С. 91–94.
17. Погонин А. А., Афанасьев А.А. Обеспечение точности механической обработки крупногабаритных деталей во время работы с использованием приставных станков. М.: ИНФРА-М, 2018. 184 с.
18. Shrubchenko I.V., Andrey V., Hurtasenko A.V., Sharapov R.R., Duyun T.A., Shchetinin N.A. Investigation of Characteristics of Contact Bandages and Support Rollers of Rotating Technological Drums // Modern Applied Science. 2015. Vol. 9. No. 1. Pp. 195–203. DOI: 10.5539/mas.v9n1p195
19. Авторское свидетельство № 1346340 СССР МКИ В23 В 5/32. Станок для обработки бандажей и опорных роликов / Н.А. Пелипенко, В.И. Рязанов, А.А. Погодин; заявитель и патентообладатель Белгородский технологический институт строительных материалов им. И.А. Гришманова. №4000133/31-08; заявл. 30.12.85; опубл. 23.10.87, Бюл. №39. 2 с.
20. Авторское свидетельство № 1738476 СССР МКИ В23 В 5/32. Станок для обработки бандажей / Ю.А. Бондаренко, М.А. Федоренко, А.А. Погодин; заявитель и патентообладатель Белгородский технологический институт строительных материалов им. И.А. Гришманова. №4820200/08; заявл. 27.04.90; опубл. 07.06.92, Бюл. №21. 2 с.
21. Пат. 38657 Российская Федерация, МПК В23 В 5/23. Станок для обработки внутренних поверхностей тел вращения большого диаметра без их демонтажа / Ю.А. Бондаренко, М.А. Федоренко; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2003136526/20; заявл. 17.12.03; опубл. 10.07.04, Бюл. №19. 2 с.
22. Пат. 167126, Российская Федерация, МПК В 23 В 5/00. Мобильный станок для обработки крупногабаритных изделий / М.С. Чепчуrows [и др.]; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г.Шухова. № 2016125917/02; заявл. 28.06.2016; опубл. 20.12.2016. 2 с.
23. Авторское свидетельство № 1306648 СССР МКИ 4 В 23В 5/32. Станок для проточки бандажей и роликов / Н.А. Пелипенко, А.А. Погонин, И.В. Шрубченко; заявитель и патентообладатель Белгородский технологический институт строительных материалов. №3995076/31-08; заявл. 25.12.85; опубл. 30.04.87, Бюл. № 16. 2 с.
24. Сюсюка Е.Н., Пальчик К.Б., Худяков С.А. Обработка гребных валов крупнотоннажных морских судов мобильными станками // Эксплуатация морского транспорта. 2018. № 4. С. 76-79.
25. Сюсюка Е.Н. Физические основы восстановительной обработки поверхностей крупногабаритных вращающихся тел. Новороссийск: ГМУ им. Адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2018. 147 с.
26. Svertlin A. Apparatus for in-situ crankshaft reconditioning. Patent US, No. 4.609.312. 1986.
27. Rolls-Royce. Portable special purpose cutting machine (Rolls Royce Fact Sheet). Rolls Royce Power Engineering PLC, Derby. 2007.
28. Пат. 2675329, Российская Федерация, МПК В 23 В5/32. Мобильный станок для обточки колёсных пар / Е.Е. Шпаков, А.А. Мохов; заявитель

тель и патентообладатель Е.Е. Шпаков, А.А. Мохов. № 2017141901; заявл. 30.11.2017; опубл. 18.12.2018, Бюл. №35. 2 с.

29. Пат. 180336, Российская Федерация, МПК В 23 В5/32. Мобильный станок с числовым программным управлением для токарной обработки колёсных пар подвижного состава железнодорожного транспорта / В.И. Макаев, Я.С. Влагов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Адастра-М". № 2017124339; заявл. 10.07.2017; опубл. 08.06.2018, Бюл. № 16. 2 с.

30. Серийный подрельсовый колесотокарный станок типа А-41 мод. А41.01.000-КС (модернизированный) для обточки колесных пар без выкатки [Электронный ресурс]. URL: <https://slavers.ru/katalog/zheleznodorozhnoe-oborudovanie/kolesotokarnyie-stanki-kts/kolesotokarnyj-stanok-a-41-modernizaciya-slavers-2016-mod.-a41.01.000-ks-podrelsovyj.html> (дата обращения: 8.07.2021).

31. Буйносов А.П., Козаков Д.Ю. Разработка мобильного станка для обточки колёсных пар электропоезда // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 97-100.

32. Буйносов А.П., Умылин И.В. Мобильный станок для обточки бандажей колёсной пары моторного вагона электропоезда // Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. 2017. № 2. С. 46-50.

33. WTL8200 CNC PORTABLE WHEEL LATHE [Электронный ресурс]. URL: <http://www.deltawheeltruingolutions.net/locomotive-cnc-portable-wheel-lathe/> (дата обращения: 8.07.2021).

34. Пат. 185997, Российская Федерация, МПК В 23 В5/32. Мобильный станок для обточки железнодорожных колёсных пар без выкатки изпод подвижного состава / Ю.Е. Колпаков, О.Н. Зинкин, Р.В. Тюрин; заявитель и патентообладатель Ю.Е. Колпаков, О.Н. Зинкин, Р.В. Тюрин. № 2018127947; заявл. 30.07.2018; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 36. 2 с.

35. Morrison WRB. Rail grinding apparatus. Patent US, No.4.864.776. 1989.

36. Авторское свидетельство № 688290 СССР МКИ В 23 В 5/16. Переносной станок для обработки фланцев / С.К. Корелин, С.В. Чемухин, А.А. Кошкин; Заявл. 10.05.78; Опубл. 30.09.79; Бюл. № 36. 2 с.

37. Авторское свидетельство № 689782 СССР МКИ В 23 В 5/16. Переносный станок для обработки концов труб / К.А. Ладейнов; Заявл. 07.12.77; Опубл. 05.10.79; Бюл. № 37. 2 с.

38. Авторское свидетельство № 1710193 СССР МКИ В 23 В 5/16. Переносной токарный

станок для обработки концов труб / Г.В. Блинов; Заявл. 15.02.89; Опубл. 07.02.92; Бюл. № 5. 2 с.

39. Авторское свидетельство № 1636129 СССР МКИ В 23 В 5/16. Переносной токарный станок для обработки концов труб / Г.В. Блинов, Ю.Н. Бочкарёв; Заявл. 25.11.88; Опубл. 23.03.91; Бюл. № 11. 2 с.

40. Пат. 2144449, Российская Федерация, МПК В 23 В41/00. Переносной станок для механической обработки / Д.А. Белашов, В.В. Худяков; заявитель и патентообладатель Д.А. Белашов, В.В. Худяков. № 98119058/02; заявл. 19.10.1998; опубл. 20.01.2000. 2 с.

41. Пат. 46696, Российская Федерация, МПК В 23 В41/00. Переносной станок для механической обработки уплотнительных поверхностей сёдел клиновых и шибберных задвижек без удаления их с трубопроводов / Б.Ю. Соколов; заявитель и патентообладатель ООО "Томскнефтехим". № 2005104988/22; заявл. 22.02.2005; опубл. 27.07.2005. 2 с.

42. Китов А.Г. Мобильный труборезный станок для отрезки и обработки торцов труб диаметром 1020-1220 мм с толщиной стенки до 70 мм // Материалы и оборудование. 2013. № 1(9). С. 42-47.

43. Пат. 110016, Российская федерация, МПК В 23 D 21/04. Устройство для резки с регулируемой глубиной реза в неподвижной металлической трубе / А.Е. Брезгин; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Акционерная компания по транспорту нефти "Транснефть" (ОАО "АК "Транснефть") (RU), Открытое акционерное общество "Верхневолжские магистральные нефтепроводы" (ОАО "Верхневолжскнефтепровод") (RU), Открытое акционерное общество "Магистральные нефтепроводы Центральной Сибири" (ОАО "Центрсибнефтепровод") (RU). № 2011120618/02; заявл. 20.05.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. №31. 2 с.

44. Инженерный и технологический сервис. Мобильный труборезный станок SUPERCUTTER [Электронный ресурс]. URL: http://npfets.ru/catalog/g_b_c_/podgotovka_kromok/supercutter/ (дата обращения: 8.07.2021).

45. Специальное конструкторское и технологическое бюро. СКТБ «Юнифос» [Электронный ресурс]. URL: http://unifos.ru/index.php?module=static_page&id=1 (дата обращения: 8.07.2021).

46. G.V.C. Industrial Tools - pipe cutters, pipe bevelers, plate bevelers, grinders & flange facers [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gbcspace.com/?lang=en> (дата обращения: 8.07.2021).

47. Tunc L.T., Shaw J. Experimental study on investigation of dynamics of hexapod robot for mobile machining // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016. № 84. Pp.817-830. DOI: 10.1007/s00170-015-7600-6

48. Rehsteiner F., Neugebauer R., Spiewak S., Wieland F. Putting parallel kinematics machines (PKM) to productive work // CIRP Annals. 1999. № 48. Pp. 345–350. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)63199-0

49. Axinte D.A., Allen J.M., Anderson R., Dane I., Uriarte L., Olarra A. Free-leg hexapod: a novel approach of using parallel kinematic platforms for developing miniature machine tools for special purpose operations // CIRP Annals. 2011. № 60(1). Pp. 395–398. DOI: 10.1016/j.cirp.2011.03.024

50. Интертулмаш. Официальный сайт. Мобильные станки - переносные портативные [Электронный ресурс]. URL: <https://www.it-mash.ru/> (дата обращения: 8.07.2021).

51. Joint Integrity Assurance. Hydratight [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hydratight.com/en/products/machining/clamshells> (дата обращения: 8.07.2021).

52. Enerpac. POWERFUL SOLUTIONS. GLOBAL FORCE [Электронный ресурс]. URL: <https://www.enerpac.com/en-us/portable-machine-tools/USClamshellPipeCuttingandBeveling> (дата обращения: 8.07.2021).

Информация об авторах

Марусич Константин Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. E-mail: mkv82@mail.ru. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, Оренбург, пр. Победы, д. 13.

Дружинин Валерий Иванович, магистрант кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. E-mail: www.kingsing1999.18@mail.ru. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, Оренбург, пр. Победы, д. 13.

Поступила 13.07.2021 г.

© Марусич К.В., Дружинин В.И., 2021

***Marusich K.V., Druzhinin V.I.**

Orenburg State University

*E-mail: mkv82@mail.ru

OVERVIEW OF MOBILE MACHINE DESIGNS FOR LARGE-SIZED PRODUCTS

Abstract. *The repair of large-sized products without a specialized repair facility is usually not available due to the impossibility of ensuring high accuracy when performing mechanical processing. Nevertheless, dismantling and moving large-sized items to the repair facility significantly increase the downtime of the equipment being repaired, or it is technically impossible to perform. Specialized machines that are used to repair large-sized items in such facilities are unique and expensive. They are heavily loaded and this can lead to various risks associated with the timing of the repair. Therefore, it is necessary to reduce the time required for dismantling, moving and processing large-sized items. In this regard, the rejection of these operations in favor of the use of mobile machines will significantly reduce the time and cost of repairs of large equipment. The article discusses domestic and foreign achievements in the field of mobile machines and systems that are used for maintenance and machining of large-sized products on site without dismantling. A number of designs of specialized mobile machines for use in various industries are described.*

Keywords: *machine, mobile, attached, portable, machining.*

REFERENCES

1. Okazaki Y., Mishima N., Ashida K. Micro-factory - concept, history and developments. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME. 2004. No. 126(4). Pp. 837–844. DOI: 10.1007/s00170-009-2411-2

2. Pogonin A.A., SHrubchenko I.V. Design concept for plug-in machine modules for mobile re-

furbishment technology. [Konceptsiya proektirovaniya vstraivaemyh stanochnyh modulej dlya mobil'noj tekhnologii vosstanovleniya]. Mining machines and automation. 2004. No. 7. Pp. 37–39. (rus)

3. Uriarte L., Zatarain M., Axinte D., Yague-Fabra J., Ihlenfeldt S., Eguia J., Olarra A. Machine tools for large parts. CIRP Annals. 2013. No. 62. Pp. 731–750. DOI: 10.1016/j.cirp.2013.05.009

4. Neugebauer R., Priber U., Rentzsch H., Ihlenfeldt S., Hoffmann D. Mobile systems for machining large work pieces. Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability - 4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2011). 2012. Pp. 135–140. DOI: 10.1007/978-3-642-23860-40_22
5. Koriath H.-J., Scheffler C., Kolesnikov A., Paetzold J., Lindner R. Energetische Bilanzierung und bewertung von werkzeugmaschinen. eniPROD Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik. Germany. 2010. Pp. 157–184.
6. Allen J., Axinte D., Roberts P., Anderson R. A review of recent developments in the design of special-purpose machine tools with a view to identification of solutions for portable in situ machining systems. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2010. No. 50. Pp. 843–857. DOI: 10.1007/s00170-010-2559-9
7. Tao B., Zhao X., Ding H. Mobile-robotic machining for large complex components: A review study. Science China. Technological Sciences. 2019. Vol. 62. No. 8. Pp. 1388–1400. DOI: 10.1007/s11431-019-9510-1
8. Koltsov A.G., Blohin D.A., Serkov A.S., Baranov V.V. Development of a mobile device for restoration of guides of large metal-cutting machines. [Razrabotka mobil'nogo ustrojstva dlya vostanovleniya napravlyayushchih krupnyh metallovezhushchih stankov]. Omsk Scientific Bulletin. 2016. No. 2 (146). Pp. 32–35. (rus)
9. Lugovskoj D.M. Portable milling machine for surface treatment of the bed of rolling mills. Patent RF, no. 166322, 2016.
10. Borodulko G.A. Portable machine tool for working, mainly end surfaces of round articles. Patent RF, no. 2316415, 2008.
11. Kosyakin A.V. Portable machine for machining mainly large parts. Patent RF, no. 142145, 2014.
12. Boiko P.F., Timiryazev V.A., Khostikoev M.Z., Danilov I. K. Hole restoration in situ using a mobile machine tool, without disassembly. Russian Engineering Research. 2019. Vol. 39. No. 4. Pp. 345–348. DOI: 10.3103/S1068798X19040038
13. Fedorenko M.A. Attached gear hobbing machine. Patent RF, no. 103505, 2011.
14. Fedorenko M.A. Attachable vertical gear hobbing machine. Patent RF, no. 110320, 2011.
15. Fedorenko M.A. Attachable vertical gear hobbing machine for repair machining of spur gears. Patent RF, no. 134096, 2013.
16. Pogonin A.A. Theoretical substantiation of the possibility of restoring the rolling surfaces of large-sized parts using attached machine modules. [Teoreticheskoe obosnovanie vozmozhnosti vostanovleniya poverhnostej kataniya krupnogabaritnyh detalej s ispol'zovaniem pristavnyh stanochnyh modulej]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2007. No. 1. Pp. 91–94. (rus)
17. Pogonin A.A., Afanasiev A.A. Ensuring the accuracy of machining large-sized parts during work using attachment machines. [Obespechenie tochnosti mekhanicheskoy obrabotki krupnogabaritnyh detalej vo vremena raboty s ispol'zovaniem pristavnyh stankov]. Moscow: INFRA-M, 2018. 184 p. (rus)
18. Shrubchenko I.V., Andrey V., Hurtasenko A.V., Sharapov R.R., Duyun T.A., Shchetinin N.A. Investigation of Characteristics of Contact Bandages and Support Rollers of Rotating Technological Drums. Modern Applied Science. 2015. Vol. 9. No. 1. Pp. 195–203. DOI: 10.5539/mas.v9n1p195
19. Pelipenko N.A. Machine for processing bandages and support rollers. Copyright certificate SU, no. 1346340, 1987.
20. Bondarenko Yu.A. Banding machine. Copyright certificate SU, no. 1738476, 1992.
21. Bondarenko Yu.A. Machine for processing internal surfaces of bodies of revolution of large diameter without dismantling them. Patent RF, no. 38657, 2004.
22. Chepchurov M.S. Mobile machine for processing large-sized products. Patent RF, no. 167126, 2016.
23. Pelipenko N.A. Machine for grooving tires and rollers. Copyright certificate SU, no. 1306648, 1987.
24. Shushuka E.N., Pal'chik K.B., Hudyakov S.A. Processing of propeller shafts of large-tonnage sea vessels with mobile machines. [Obrabotka grebnyh valov krupnotonnazhnyh morskikh sudov mobil'nymi stankami]. Operation of sea transport. 2018. No. 4. Pp. 76–79. (rus)
25. Shushuka E.N. Physical foundations of surface recovery treatment of large-sized rotating bodies. [Fizicheskie osnovy vosstanovitel'noj obrabotki poverhnostej krupnogabaritnyh vrashchayushchihsy tel]. Novorossiysk: GMU im. Admirala F.F. Ushakova, 2018. 147 p.
26. Svertlin A. Apparatus for in-situ crankshaft reconditioning. Patent US, no. 4.609.312. 1986.
27. Rolls-Royce. Portable special purpose cutting machine (Rolls Royce Fact Sheet). Rolls Royce Power Engineering PLC, Derby. 2007.
28. Shpakov E.E. Mobile machine for machining wheel pairs. Patent RF, no. 2675329, 2018.
29. Makaev V.I. Mobile machine with numerical control for turning wheel sets of rolling stock of railway transport. Patent RF, no. 180336, 2018.
30. Serial underfloor wheel lathe type A-41 mod. A41.01.000-KS (modernized) for turning

wheelsets without rolling out. [Serijnyj podrel'sovyj kolesotokarnyj stanok tipa A-41 mod. A41.01.000-KS (moderniziro-vannyj) dlya obtochki kolesnyh par bez vykatki]. URL: <https://slavers.ru/katalog/zheleznodorozhnoe-oborudovanie/kolesotokarnyye-stanki-kts/kolesotokarnyj-stanok-a-41-mod-ernizaciya-slavers-2016-mod.-a41.01.000-ks-podrel'sovyj.html> (date of treatment: 8.07.2021)

31. Buinosov A.P., Kozakov D.YU. Development of the mobile machine for turning of wheelpairs of the electric train. [Razrabotka mobil'nogo stanka dlya obtochki kolyosnyh par elektropoezda]. Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. 2015. No. 3. Pp. 97–100. (rus)

32. Buinosov A.P., Umylin I.V. Mobile machine for turning the tires of the mounted wheels of a motor wagon of an electric train. [Mobil'nyj stanok dlya obtochki bandazhej kolyosnoj pary motornogo vagona elektropoezda]. Railway rolling stock, train traction and electrification. 2017. No. 2. Pp. 46–50. (rus)

33. WTL8200 CNC PORTABLE WHEEL LATHE. URL: <http://www.deltawheeltruingolutions.net/locomotive-cnc-portable-wheel-lathe/> (date of treatment: 8.07.2021)

34. Kolpakov Yu.E. Mobile machine for turning railway wheelsets without rolling out from under the rolling stock. Patent RF, no. 185997, 2018.

35. Morrison WRB. Rail grinding apparatus. Patent US, no.4.864.776. 1989.

36. Korelin S.K. Portable flange machining machine. Copyright certificate SU, no. 688290, 1979.

37. Ladejnov K.A. Portable machine for processing pipe ends. Copyright certificate SU, no. 689782, 1979.

38. Blinov G.V. Portable lathe for processing pipe ends. Copyright certificate SU, no. 1710193, 1992.

39. Blinov G.V. Portable lathe for processing pipe ends. Copyright certificate SU, no. 1636129, 1991.

40. Belashov D.A. Portable working machine tool. Patent RF, no. 2144449, 2000.

41. Sokolov B.Yu. Portable machine for machining the sealing surfaces of wedge and gate valve seats without removing them from pipelines. Patent RF, no. 46696, 2005.

42. Kitov A.G. Mobile pipe-cutting machine for cutting off and processing the ends of pipes with a diameter of 1020-1220 mm with a wall thickness of up to 70 mm. [Mobil'nyj truboreznyj stanok dlya otrezki i obrabotki torcov trub diametrom 1020-1220

mm s tolshchinoj stenki do 70 mm]. Materials and equipment. 2013. No. 1(9). Pp. 42–47. (rus)

43. Brezgin A.E. Cutting device with adjustable cutting depth in a fixed metal tube. Patent RF, no. 110016, 2011.

44. Engineering and technological service. Mobile pipe cutter SUPERCUTTER [Inzhenernyj i tekhnologicheskij servis. Mobil'nyj truboreznyj stanok SUPERCUTTER]. URL: http://npfets.ru/catalog/g_b_c_/podgotovka_kromok/supercutter/ (date of treatment: 8.07.2021). (rus)

45. Special design and technological bureau. SKTB "Unifos" [Special'noe konstruktorskoe i tekhnologicheskoe byuro. SKTB «YUnifos»]. URL: http://unifos.ru/index.php?module=static_page&id=1 (date of treatment: 8.07.2021). (rus)

46. G.B.C. Industrial Tools - pipe cutters, pipe bevelers, plate bevelers, grinders & flange facers URL: <https://www.gbcsa.com/?lang=en> (date of treatment: 8.07.2021)

47. Tunc L.T., Shaw J. Experimental study on investigation of dynamics of hexapod robot for mobile machining. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016. No. 84. Pp. 817–830. DOI: 10.1007/s00170-015-7600-6

48. Rehsteiner F., Neugebauer R., Spiewak S., Wieland F. Putting parallel kinematics machines (PKM) to productive work. CIRP Annals. 1999. No. 48. Pp. 345–350. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)63199-0

49. Axinte D.A., Allen J.M., Anderson R., Dane I., Uriarte L., Olarra A. Free-leg hexapod: a novel approach of using parallel kinematic platforms for developing miniature machine tools for special purpose operations. CIRP Annals. 2011. No. 60(1). Pp. 395–398. DOI: 10.1016/j.cirp.2011.03.024

50. Intertulmash. Official site. Mobile machines - portable portable. [Intertulmash. Oficial'nyj sajt. Mobil'nye stanki - perenosnye portativnye]. URL: <https://www.itmash.ru/> (date of treatment: 8.07.2021). (rus)

51. Joint Integrity Assurance. Hydratight. URL: <https://www.hydratight.com/en/products/machining/clamshells> (date of treatment: 8.07.2021)

52. Enerpac. POWERFUL SOLUTIONS. GLOBAL FORCE. URL: <https://www.enerpac.com/en-us/portable-machine-tools/USClamshellPipeCuttingandBevelling> (date of treatment: 8.07.2021)

Information about the authors

Marusich, Konstantin V. PhD, Assistant professor. E-mail: mkv82@mail.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13.

Druzhinin, Valery I. Master student. E-mail: www.kingsing1999.18@mail.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13.

Received 13.07.2021

Для цитирования:

Марусич К.В., Дружинин В.И. Обзор конструкций мобильных станков для обработки крупногабаритных изделий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 97–112. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-97-112

For citation:

Marusich K.V., Druzhinin V.I. Overview of mobile machine designs for large-sized products. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 97–112. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-97-112