

ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 4 (85)
октябрь – декабрь
2019

Республиканский межотраслевой производственно-практический журнал
Издается с июля 1998 года
Выходит один раз в три месяца

Учредитель: Общественное объединение
«Белорусское общество инженеров-механиков»
(ОО «БОИМ»)

Главный редактор Чижик С.А.

Редакционная коллегия: Андреев М.А., Дашков В.Н.,
Дубовик Д.А., Дюжев А.А., Захарик А.М.,
Колпашиков В.Л., Крупец Л.Н., Лягушев Г.С.,
Мариев П.Л., Медвецкий Е.И., Мелешко М.Г.,

Адрес редакции:

220141, Минск, ул. Ф. Скорины, 52/6
тел./ факс 262-64-28; 264-00-80

E-mail: mail@boim.by

Свидетельство о регистрации № 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс 001392

Компьютерная верстка Н.В. Побяржина

Подписано в печать 23.12.2019.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,7.

Тираж 100 экз. Заказ №

Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ЧПТУП
«Колорград»

Лицензия ЛП № 02330/474 от 08.09.2015 г.

220033, г. Минск, пер. Велосипедный, 5, оф. 904.

www.segment.by

СОДЕРЖАНИЕ

Выставка

Форум и выставка высоких технологий, робототехники, мехатроники и стартапов.....2

Разработки ученых и специалистов

Антифоны в теплотехнике. *Северянин В.С.*.....5

Инновационное оборудование для подготовки к использованию отходов, образующихся при реновации старых застроек. *Вавилов А.В., Бурмак И.В.*.....12

Модернизация шестеренных насосов приводов оборудования инженерных машин. *Котлобай А.Я., Котлобай А.А.*.....17

Материалы конференций и семинаров

X Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент»21

Патентуем сами

Електрапнеўматычныя сістэма бяспекі доўгабазных транспартных сродкаў для пасажыраў з абмежаванымі магчымасцямі *Павлович А.Э.*.....45

Будет интересно

Досуг.....47

ФОРУМ И ВЫСТАВКА ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ, РОБОТОТЕХНИКИ, МЕХАТРОНИКИ И СТАРТАПОВ

3–4 октября 2019 г. в Житомире при участии Президентов Зеленского В.А. и Лукашенко А.Г. состоялся Второй Форум регионов Украины и Беларуси, на котором был представлен экономический потенциал регионов наших стран и появились новые инициативы и формы взаимовыгодного экономического, инвестиционного, научно-технического и культурного сотрудничества на межрегиональном уровне.

В рамках проведения Второго Форума на базе Государственного университета «Житомирская политехника» состоялся Форум и выставка высоких технологий, робототехники, мехатроники и стартапов. Было представлено более 50 стартапов и разработок, в том числе, созданных в учреждениях высшего образования Украины и Беларуси и на предприятиях, сотрудничающими с ними (это, в частности, Государственный университет «Житомирская политехника» (Украина), Белорусский национальный технический университет (г. Минск – Беларусь), Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины (г. Киев – Украина), ЧАТ «Марьяновский стекло-

завод» (пгт. Марьяновка Барановского района Житомирской области – Украина) и многих др.).

На выставке работало девять локаций: достижения современных космических технологий, автоматизация и приборостроение, организация и безопасность дорожного движения на транспорте, промышленное производство и техническая наука, современная военная техника и технологии, сетевые технологии и телекоммуникации, современный мир программирования, техническая защита информации и кибербезопасность, современные медицинские средства и телемедицина. Во время мероприятия был подписан Меморандум о взаимопонимании между Белорусским государственным университетом информатики и радиоэлектроники и Государственным университетом «Житомирская политехника».

Официальные мероприятия в Житомирской политехнике посетили заместитель премьер-министра Республики Беларусь Ляшенко И.В., первый заместитель министра образования и науки Украины Полухович Ю.Ю., председатель Государственного комитета по науке и технологиям

Республики Беларусь Шумилин А.Г., заместитель председателя Житомирской областной государственной администрации Лагута Я.Н., министры Совета Министров Республики Беларусь, руководители ведущих белорусских предприятий разных отраслей, руководитель Агентства регионального развития Житомирской областной государственной администрации Сачук А.Н., гости – ка-



захская делегация в составе ректора Казахского научно-исследовательского технического университета им. К. Сатпаева И. Бейсембетова, профессора этого же университета И. Сургабаева и менеджера ТОО «Техноэкспорт» Н. Никогосяна – и Президент Украинско-арабского делового совета Эмад Абу Алруб.

Своего рода символическим продолжением межрегиональных октябрьских украинско-беларусских мероприятий стало проведение 7–8 ноября 2019 г. здесь же, в Житомире, традиционной, уже десятой по счёту, Всеукраинской научно-практической-конференции с международным участием «Процессы механической обработки, станки и инструмент», в которой приняли участие учёные из Украины, Беларуси и Сербии. У её истоков в далёком 1999 г. стояли, наряду с представителями разных стран, украинские и беларусские заведения высшего образования, учреждения и организации, в частности, Житомирский инженерно-технологический институт (сейчас – Государственный университет «Житомирская политехника»), Полоцкий государственный университет, Ассоциация технологов-машиностроителей Украины. Соорганизаторами конференции на этот раз выступили заведения высшего образования, научно-исследовательские институты, организации Украины и Беларуси, в частности, Государственный университет «Житомирская политехника», Винницкий национальный технический университет, Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Ассоциация технологов-машиностроителей Украины, Механико-машиностроительный институт Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского» (все – Украина), Полоцкий государственный университет и

Физико-технический институт НАН Беларуси (оба – Беларусь).

Во время проведения конференции были заслушаны доклады по вопросам:

- проблемы развития машиностроения в Украине и других странах, в частности, в Беларуси и Сербии;
- обработка резанием и давлением;
- прогрессивные виды обработки;
- современные технологии машиностроения;
- проблемы производства станков;
- компоновка станков и систем, САПР;
- динамика и моделирование процессов в станочных системах;
- надёжность и долговечность станков;
- современное состояние и перспективы развития инструментального производства;
- проектирование и изготовление инструментов;
- прогрессивные конструкции инструментов, особенности их эксплуатации;
- инструменты для обработки неметаллических материалов;
- проблемы обработки камня и других горных пород.

Количество участников – 134 (из них – 38 докторов наук).

Количество докладов – 93.

Участники из Беларуси:

- Белорусский национальный технический университет.
- Институт подготовки научных кадров НАН Беларуси.
- Полоцкий государственный университет.
- Университет гражданской защиты МЧС Беларуси.
- Унитарное предприятие «Полимаг».
- Физико-технический институт НАН Беларуси.

УДК 69.05:658

АНТИФОНЫ В ТЕПЛОТЕХНИКЕ

*Северянин В.С.**Брестский государственный технический университет*

В статье показано одно из направлений предотвращения звукового загрязнения окружающей воздушной среды высокофорсированными топочными устройствами. Объяснена физика действия, предложена классификация антифонов, разработаны некоторые конструкции. Публикация способствует более широкому использованию высокоэффективной техники.

1. Введение

Антифон (греч.: против; звук) – устройство для снижения звукового эффекта путем воздействия на источник звука или звуковое поле физическими методами, компенсирующими акустические колебания.

Другой метод шумоглушения – звукоизоляция, которая не пропускает (в разной степени) акустические (или связанные с ними механические) колебания от источника в окружающую среду. Прочные, многослойные, гибкие или массивные, армированные, опорные, колеблющиеся и т.д. ограждения решают проблему, но в теплотехнике такие объекты как топочные устройства невозможно изолировать от внешней среды достаточно полно. Это объясняется тем, что при горении необходимо непрерывно подавать воздух и удалять газообразные продукты сгорания через отверстия, связанные с внешней воздушной средой, и через них происходит, в частности, акустическое излучение.

В последнее время начинают использоваться так называемые камеры пульсирующего горения – топочные устройства различной тепловой мощности (от 50 кВт до 5 МВт), обладающие рядом теплотехнических преимуществ (резкое уменьшение габаритов, высокие показатели топочного процесса, малые расходы энергии на собственные нужды, удобство эксплуатации). Но эти устройства имеют существенный недостаток – сильное шумовое загрязнение примыкающего пространства (более 100 дБА). Обслуживаемые ими объекты поэтому также высоко экономичны, но акустика по указанной выше причине (шум на входе воздуха и на выходе топочного газа) ограничивает их применение. Громоздкая звукоизоляция

снижает принципиальное достоинство пульсирующего горения. Поэтому весьма актуальной задачей становится разработка новых, усовершенствование известных методов снижения акустического загрязнения окружающей среды, промышленных объектов высокофорсированными топочными устройствами. Одним из целесообразных направлений достижения цели может явиться использование и разработка антифонов.

Физика действия антифонов

Принцип действия антифонов – генерация явлений, веществ, ситуаций, противоположных по эффекту уничтожаемым качествам, совпадающих во времени и месту. Если повышается давление – надо воздействовать снижением, и наоборот. Ускоряется в одном направлении – создать обратное. Нагревается – охладить. И т.д. Естественно, на это требуется энергия и различные материалы. Но это – цена достижения комфорта или необходимого технического условия.

Звук – это распространение знакопеременных давлений воздуха. При гармонических установившихся колебаниях зависимость давления во времени выражается синусоидой, на которую могут накладываться обертоны, обусловленные вторичными колебаниями. Если рядом с этой синусоидой образовать другую, противоположную по фазе, то их суммирование, т.е. интерференция, в пространстве, окружающей точку, даст алгебраический результат: нулевое давление при идентичных параметрах слагаемых волн. В электрических сетях этого добиться несложно, но в технической акустике, особенно при таком сложном процессе как горение топлив, влияют трудноустраняемые причины (конструкции, аэродинамика, различие пространственных пламен, постоянство подачи

воздуха и топлива, их смешение, удаление продуктов сгорания и т.д.), усложняющие достижения нулевого эффекта.

Если же источники колебаний воздуха находятся на некотором расстоянии друг от друга, то в окружающем их пространстве возникает «интерференционная картина» – образуются области с повышенным и «нулевым» звуком. На рис. 1: А – источник звука, Б – антифон («гасящий источник»), В, Г – колебания «Р» давления в А и Б, τ – время, Д, Е – интерференционные зоны шума и затишья, L – расстояние между источниками

Очевидно, что только при $L \rightarrow 0$ шумопроизводящий агрегат меньше акустически загрязняет окружающую среду, ибо в этом случае зоны Е и Д аннулируют друг друга. На практике волна В может содержать обертоны, тогда Б требует соответствующей настройки для получения нужной Г (возможны и другие помехи).

Физический аналог антифона – резонатор Гельмгольца. Он представляет собой ёмкость v с горлом длиной l и сечением S . В этом устройстве происходит поглощение/генерация звуковых волн, когда собственная частота колебаний массы воздуха в нем совпадает с внешними колебаниями газа. Антифонный эффект возникает в этом случае за счёт движения воздуха (газа) в горле

резонатора при сжатии/расширении его в объёме ёмкости. Собственная частота такого реактивного глушителя [1]:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{C_0}{v}} \quad (1)$$

где C – скорость звука, C_0 – акустическая проводимость горла резонатора (отверстий соединяющих объём v с зоной глушения),

$$C_0 = \frac{\frac{\pi}{4} d^2 n}{l + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d}{\zeta(\xi)}} \quad (2)$$

где d – диаметр горла резонатора или отверстий, образующих его, n – количество отверстий, l – длина горла (канала) или толщина стенки резервуара резонатора, ζ – функция, учитывающая поправку на присоединённую массу, $\xi = d/a$, a – расстояние между центрами соседних отверстий.

В настоящей статье не рассматриваются такие источники шума, как вибрации элементов оборудования, т.к. борьба с ними представляет собой другое направление решения проблемы звукового загрязнения окружающей среды, т.е. целесообразно разделить акустические и механические методы.

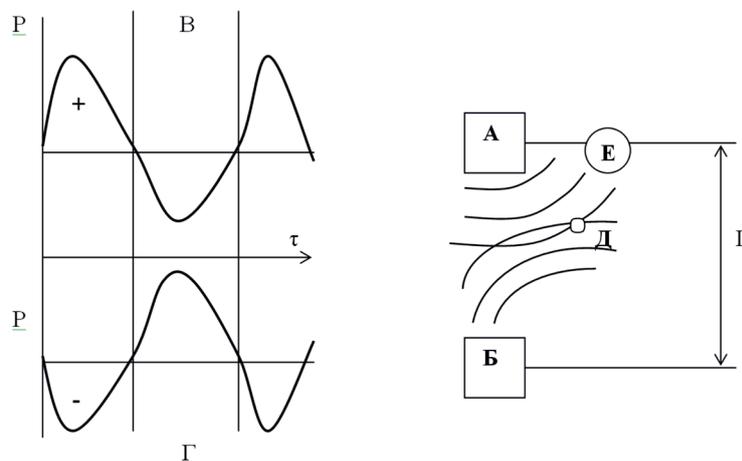


Рис. 1. Действие генераторов звука

Конструкции антифонных схем

3.1. Камерные реактивные глушители

Разработана конструкция устройства, изображённого на рис. 2 [2]. Здесь 1 – камера воспламенения с форсункой 2, запальником 3 и аэродинамическим клапаном 4. К камере 1 примыкает полость 5 из перфорированной трубы; в ней имеется трубка 6 для пускового воздуха. Резонансная

труба 8 подсоединена тангенциально к камере 1 и введена аксиально в трубу 10, в которой имеется перегородка с каналом 7 и корпус 9. Устройство закрыто кожухом 11, в котором имеются секции I, II, III, представляющие собой резонаторы Гельмгольца. Размеры элементов в мм указаны на чертеже.

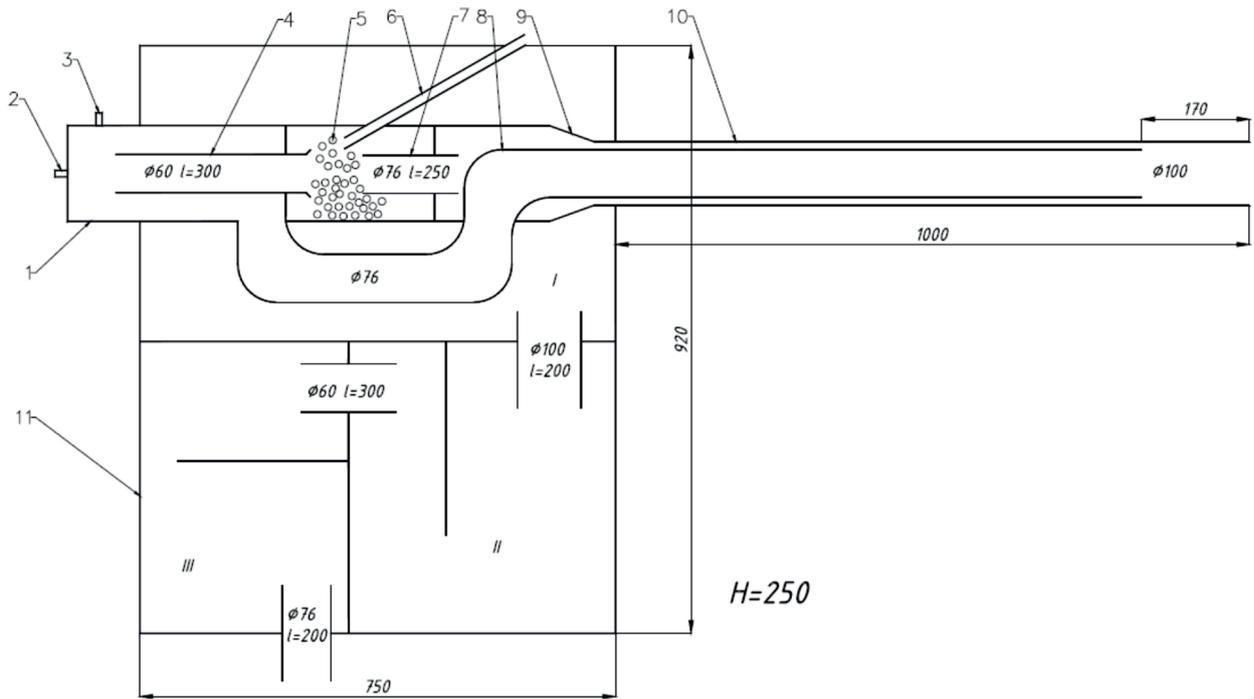


Рис. 2. Антифон типа резонаторного реактивного глушителя камеры пульсирующего горения.

При работе устройства из-за больших скоростей в зазоре между 4 и 7 создаётся разрежение, поэтому в полость 5 засасывается воздух, преодолевая сопротивление секций I, II, III кожуха II. Топочные газы взаимодействуют на выходе из резонансной трубы 8 с потоком газа из клапана 7, улучшая добавочное снабжение воздухом камеры воспламенения I. Опробование и испытания устройства подтвердили правильность физических предпосылок. Секции I, II, III снижают силу звука при пульсирующем горении на

25–30 Децибел.

3.2. Струйный антифон

Способ шумоглушения устройств пульсирующего горения может быть реализован устройством, изображённым на чертеже рис. 3, где: 1 – камера пульсирующего горения, 2 – воздушный короб, 3 – воздуховод, 4 – вентилятор, 5 – двигатель, 6 – перфоратор, 7 – сервопривод, 8 – датчик, 9 – регулятор, а – лопасть вентилятора, б – плоскость вентилятора, в – плоскость перфоратора, г – отверстие перфоратора [3].

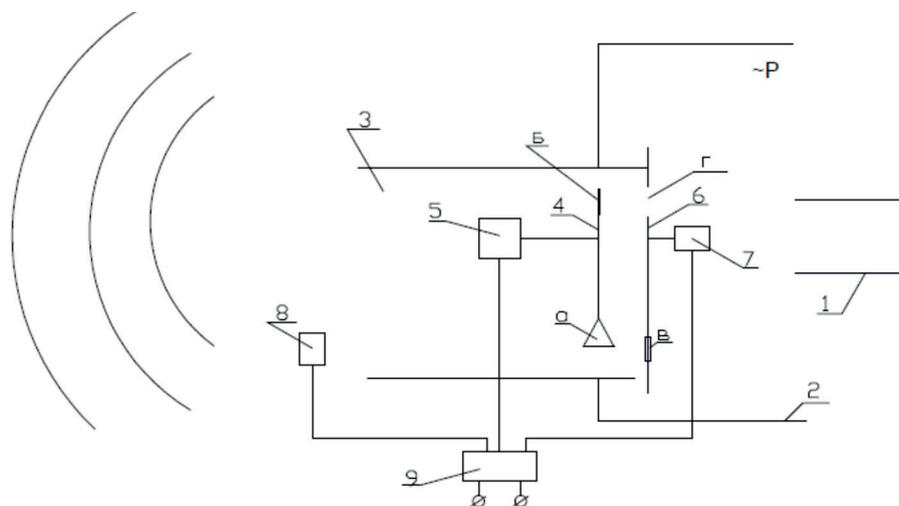


Рис. 3. Схема струйного антифона

Камера пульсирующего горения 1 направлена в воздушный короб 2, имеющий воздухопровод 3. В воздуховоде 3 располагается вентилятор 4 с двигателем 5. Соосно с ним смонтирован перфоратор 6 в виде диска с отверстиями. Перфоратор может поворачиваться на своей оси при помощи сервопривода 7 (шаговый электродвигатель). Датчик 8 (микрофон), двигатель 5, сервопривод 7 электрически связаны с регулятором 9 (имеющим усилители, коммутаторы, преобразователи частоты, тиристорные преобразователи, микропроцессоры, задатчики и др.), который питается от электросети. Вентилятор 4 и перфоратор 6 образуют прерыватель струй воздушного потока.

При вращении вентилятора 4 лопасть вентилятора «а» нагнетает воздух в воздушный короб 2, когда лопасти вентилятора «а» совпадают с отверстиями «г» перфоратора 6. Когда плоскость вентилятора «б» совпадает с отверстием перфоратора «г» и «а» с «в», воздушный поток прерывается. Закрытие/открытие во времени происходит синусоидально, т.е. также как изменяется давление «р» в воздушном коробе 2.

При медленном повороте перфоратора 6, начало закрытия/открытия отверстия перфоратора «г» во времени изменяется.

Камера пульсирующего горения 1 при своей работе создаёт звуковой поток в сторону воздушного короба 2. Этот звуковой поток в виде пульсирующей струи без включения системы шумоглушения через воздухопровод 3 выходит в окружающую среду, создавая сильное звуковое загрязнение (линии слева).

Во избежание этого включается вентилятор 4, вращаемый двигателем 5. Скорость его вращения задаётся датчиком 8 через регулятор 9. Например, для соблюдения частоты в 50 Герц и наличия двух отверстий «г», равных по величине плоскости перфоратора «в», при $a=b=v=g$, скорость вращения должна быть $n=(1/2T) \cdot 60$ об/мин, где T – время оборота (полоборота равно периоду пульсаций), т.е. $n=(1/2 \cdot 0,02) \cdot 60$ об/мин = 1500 об/мин, где $0,02 = 1/f = 1/50$.

Для четырёх отверстий на круге перфоратора и четырёх лопастей вентилятора имеем: $n = 750$ об/мин, и т.д., т.е. для характерных частот камер пульсирующего горения обороты вполне достижимы. Для других частот, определяемых датчиком 8 от действия камеры пульсирующего горения 1, скорости вращения двигателя 5, осуществляемых регулятором 9, будут соответствующие данному расчёту.

Однако совпадения частот камеры пульсирующего горения и частот прерывания струи воздуш-

ного потока, входящего в воздушный короб 2, недостаточно для эффективного шумоглушения: необходимо совпадение фаз акустических колебаний от камеры пульсирующего горения 1 и от вентилятора 4 с перфоратором 6. Положительная полуволна должна совпадать с закрытием «г», чтобы звук не выходил из воздушного короба 2 наружу, отрицательная полуволна колебаний – с открытием «г», т.е. с подачей воздуха, когда происходит всасывание его в зону горения. Только в этом случае идёт процесс подачи воздуха и шумоглушения, а остаточный звук улавливается датчиком 8.

Если фазы не совпадают, датчик 8 фиксирует усиление звука, подаёт сигнал в регулятор 9, который включает сервопривод 7. Перфоратор 6 поворачивается, фаза изменяется, т.к. начало закрытия/открытия становится другим, звук у датчика 8 снижается. Регулятор 9 находит оптимум путём знакопеременного поворота перфоратора 6, и при минимуме звука отключает сервопривод 7.

При изменении режима работа камеры пульсирующего горения, когда может измениться и частота, и амплитуда акустических колебаний, регулятор 9 настраивает новый минимум излучения звука наружу. При этом частота (скорость вращения вентилятора) задаётся жёстко датчиком 8, а фаза, т.е. положение перфоратора 6, «ищется» как указано выше.

Таким образом, описываемый антифон снижает шумность высокоэффективных устройств пульсирующего горения.

Предложенный струйный антифон реализует способ шумоглушения. Он состоит из подачи воздуха из окружающей среды в зону горения, при этом фаза повышенного акустического давления совмещается с перекрытием подачи воздуха, фаза пониженного акустического давления совмещается с временем открытия подачи воздуха, частота перекрытия и подачи струи воздуха сравнивается с частотой пульсаций в устройстве пульсирующего горения.

3.3. Излучающий антифон

Прямым аналогом такого типа антифона является обычный громкоговоритель. Это устройство для преобразования электрических сигналов звуковых частот в акустические колебания в целях сильного воспроизведения звука с заданными акустическими характеристиками [4]. Подводимые электрические импульсы вызывают механические колебания подвижной системы устройства, что генерирует излучение воздушных колебаний

в окружающее пространство по законам линейной акустики. Звуковое давление (амплитуда колебаний) зависит от подводимой мощности. Громкоговорители мощностью 50–100 ватт считаются весьма громкими излучателями, гашение их звука является непростой задачей. Такие точные теплотехнические устройства, как камеры пульсирующего горения, представляют собой идентичный звуковой излучатель [5]. Они выделяют гармонические звуковые колебания в диапазоне 10–200 Герц. При этом в установившемся режиме горения эти колебания устойчивы, чётко фиксируются, легко анализируются, надёжно воспроизводятся. Поэтому можно подобрать аналогичные звуковые колебания, например, с помощью особого громкоговорителя, с настраиваемой частотой, амплитудой, если нужно – обертонами, но – с противофазными качествами, рис. 1.

Если источник звука (излучение которого следует подавить) и вспомогательный звуковой генератор с противофазными колебаниями расположить рядом, то такое сочетание приведёт к уменьшению шума (вплоть до нуля) этого комплекса. Звуковое поле, как показано выше, зависит от геометрии расположения, но при указанном условии (рис. 1), если $L \rightarrow 0$, шумоглушение будет обеспечено.

Если $L \neq 0$ (слушатель далеко от источника подавляемого звука, вне зоны затишья), требуется персональный противофазный громкоговоритель (наушники с небольшими приспособлениями). Такие «беруши» могут обеспечить звуковой комфорт. Принципиальная схема предлагаемого излучающего антифона показана на рис. 4.

На рис 4: 1 – источник подавляемого звука, 2 – датчик звукового давления, 3 – анализатор, 4 – фазовращатель, 5 – регулятор, 6 – динамик.

При включении шумопроизводящего устройства 1 акустический датчик 2 улавливает звук, анализатор 3 оценивает его силу, фазовращатель 4 вырабатывает противофазные электрические сигналы, которые передаются на динамик 6 (электродинамический громкоговоритель). Интерференция звуковых волн 4 от 1 и 6 глушит звуковое поле вокруг 1 и 6, регулятор 5 поддерживает это условие работой автоматики и предварительной настройкой. При отключении 1 отключается также 6. При работе 1 датчик 2 фиксирует шумоглушение. Таким образом, антифон создаёт и действует комбинацией элементов 3...6, весьма простых по устройству и работе при минимальном потреблении электроэнергии. Кроме того, этой системе можно придать функции регулятора самого теплотехнического генератора (тепловая мощность, подача топлива, время включения/отключения и т.д.).

Схему по рис. 4 можно расширить увеличением количества динамиков и датчиков. Элементы 3,4,5 объединены в одном компактном блоке. Излучающая антифонная система может быть оптимальной (по стоимости, эффективности, обслуживанию) для многих случаев, превосходя другие методы шумоглушения и звукоизоляции. Метод не требует реконструкций теплотехнического оборудования, а достижение звукового комфорта малозатратно, при получении теплотехнического эффекта на обслуживаемом аппарате.

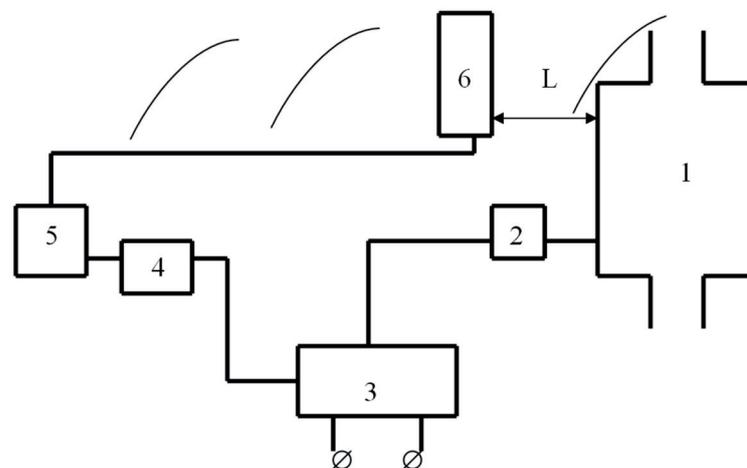


Рис. 4. Излучающий антифон

3.4. Антифонные компоновки генераторов теплоты

3.4.1. Особые конструкции

Снизить шум, излучаемый устройством, можно приданием специальной формы или компоновкой элементов, например, применением двух резонансных труб, на концах которых организуются противоположные по фазе колебания. Отличие от известных противофазных схем в том, что в данном случае геометрические характеристики труб выбираются такими, чтобы в одной из них укладывалась четверть волны, а в другой – три четверти [5].

На рис. 5-А представлена схема устройства, на рис. 5-Б – эпюры колебаний (показаны акустические смещения газа). Устройство содержит форсунку 1 для подачи топлива, аэродинамический воздушный клапан 2, камеру воспламенения 3, две резонансные трубы 4 и 5, которые введены в выхлопной объем 6. Если температуры

газов в этих трубах одинаковы, то труба 4 втрое короче трубы 5. Верхний график а-б – колебания в трубе 4, нижний – а-в-д-г – в трубе 5 (стоячие волны соответствуют указанным соотношениям длин). Тогда «+» на а-б совмещается с «-» на д-г в данный момент времени, чем обеспечивается противофаза в 6. Точки «а» и «д» – узлы смещения, точки «в», «б», «г» – пучности акустического смещения.

Внутри труб могут располагаться теплообменные поверхности, корректирующие шайбы и т.п. Трубы могут иметь переменное по длине поперечное сечение, произвольную форму в плане. Аналогичную схему можно использовать на аэродинамических клапанах. Достоинство устройства – незначительное увеличение аэродинамического сопротивления, которое вообще требует расхода энергии, т.е. снижения мощности на выработке теплоты.

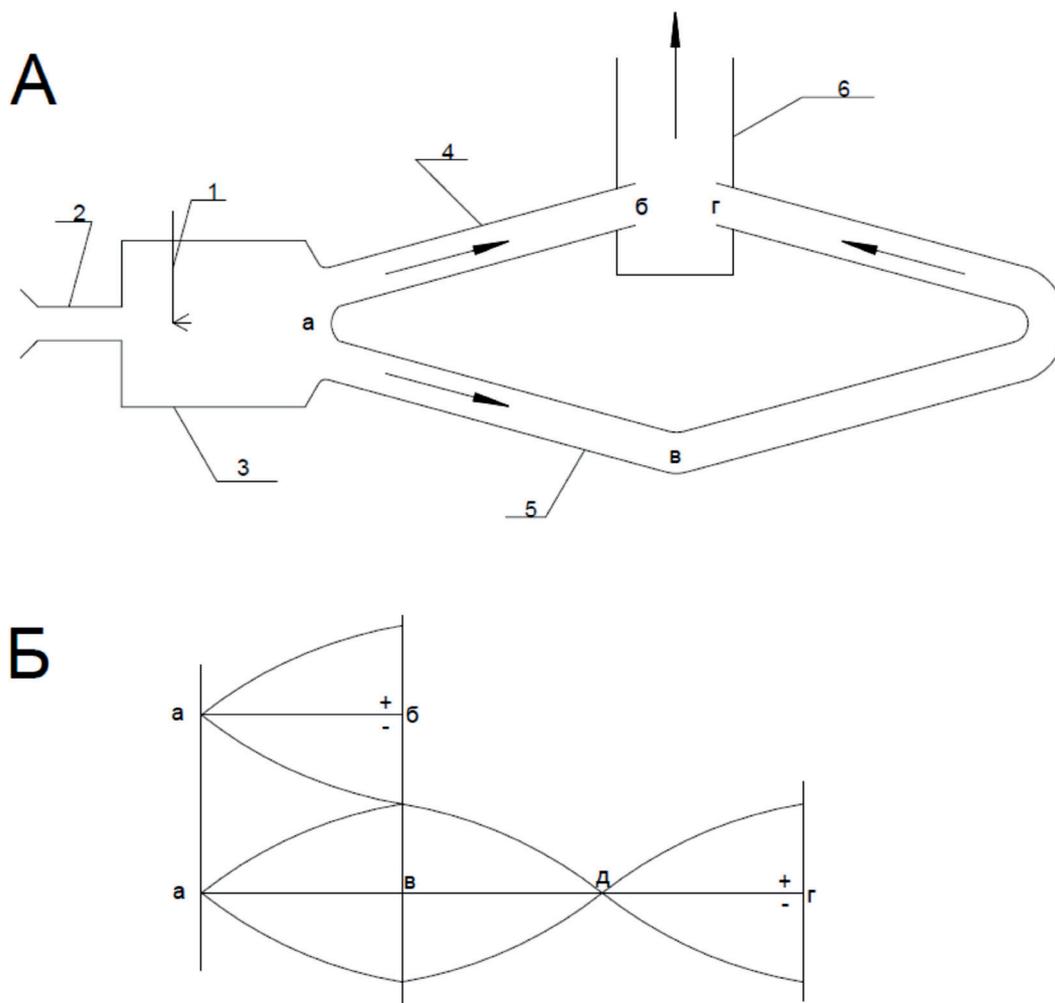


Рис. 5. Конструкционный метод подавления звука

3.4.2. Противофазные комбинации

Если источник интенсивного звука (в данном случае мощный теплогенератор) установить рядом с другим полностью аналогичным, то организация противофазной работы может привести, по вышеприведённым соображениям, к уменьшению акустического загрязнения окружающей воздушной среды [6].

Во-первых, у звуковых потоков должны быть одинаковые частоты колебаний f , а во-вторых – амплитуды колебаний источника. Для общеизвестных устройств пульсирующего горения:

$$f = \frac{c}{4L} \quad (3)$$

скорость звука:

$$c = \sqrt{RT c_p / c_v} \approx 20\sqrt{T} \quad (4)$$

(R – газовая постоянная, c_p и c_v – теплоёмкости).

Выражение (3) применимо для четвертьволновых схем упомянутых устройств. Длина L задаётся теплотехническими и конструктивными условиями, одинаковые длины безусловны.

На скорость звука влияют газовые параметры – плотность ρ , температура T ; эти параметры (4) поддерживать одинаковыми в двух теплогенераторах сложнее. Они зависят от тепловыделения в топочном объёме, т.е. от качества горения, расхода топлива и др.

Амплитуда колебаний давления газа в устройстве пульсирующего горения и в других, аналогичных ему теплогенераторах, определяется геометрическими, акустическими, теплофизическими, эксплуатационными и т.д. факторами и может быть оценена следующим выражением [7]:

$$\Delta P = \frac{1}{4} \frac{Q_H^P G}{\nu f} \quad (5)$$

где Q_H^P – теплота сгорания топлива, G – расход топлива, ν – объём камеры сгорания, f – частота колебаний.

Зависимости (3) (4) (5) показывают условия поддержания противофазной работы двух теплогенераторов с целью снижения звукового загрязнения среды. Если геометрические характеристики выполнить конструктивно несложно, то одинаковый топочный режим требует точного поддержания расхода топлива, его качества (включая распыл), воздуха, удаления продуктов сгорания, охлаждения топочной камеры, чистоты внутренних поверхностей, аэродинамического сопротивления, структуры внутренних потоков. Однако нужно подчеркнуть, что эти требования, как показывает практика, вполне удовлетворяются существующей автоматикой и компьютерным управлением, без существенного увеличения общих конструктивных и эксплуатационных расходов.

На рис. 6 показана противофазная комбинация двух теплогенераторов – камер пульсирующего горения, работающих в качестве топочного устройства на водогрейном котле. Топливо подаётся в камеры воспламенения 1, оно распределяется по ним автоматически регулятором 2 по описанным выше условиям. Регулятор 2 имеет датчики расхода, температуры, частоты, амплитуды колебаний. Воздух на горение подаётся аэродинамическими клапанами 3. Эти клапаны трубчатого типа смонтированы по одной прямой линии навстречу (по потоку газа/воздуха) друг

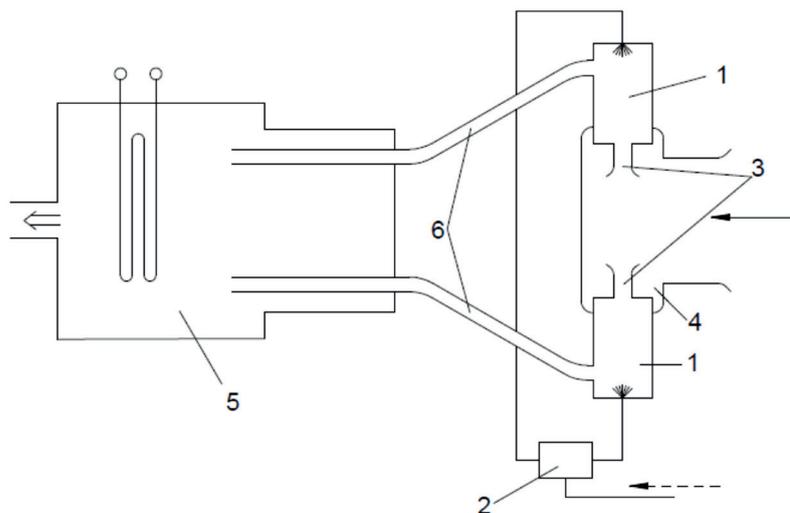


Рис. 6. Комбинационный метод подавления звука

другу. Общий воздуховод 4 может иметь дутьевой вентилятор или просто выводиться наружу от обслуживаемого котла 5.

На рис. 6 стрелками обозначено: простая – воздуховод, пунктирная – топливо, двойная – продукты сгорания. Излучение звука из аэродинамических клапанов 3 создается пульсирующими потоками воздуха, из резонансных труб 6 – газа, причем эти потоки синфазны из одной камеры пульсирующего горения, но противофазны по отношению к другой. При этом потоки среды сразу при запуске автоматически настраивают противоположные колебания давления, необходимо поддерживать это действие установкой одинаковых термических и газодинамических условий. Это создается действием регулятора подачи топлива (при прочих одинаковых условиях).

4. Заключение

Антифоны как одно из средств борьбы с акустическим загрязнением окружающей среды, наряду с шумоглушением различного вида, звукоизоляцией, звукопоглощением, экранизацией является эффективным способом снижения отрицательных качеств ряда высокопроизводительных экономичных аппаратов и машин, в частности – теплотехнического огневого оборудования. Конструкционные и эксплуатационные затраты для достижения комфортных или технологических требований неизмеримо меньше должны быть экономического эффекта от действия защищаемого оборудования. Имеющаяся и разрабатываемая техника управления и оптимизации позволяет шире реализовать это направление.

Система антифонов, предлагаемых для устройств пульсирующего горения, может быть также использована в других случаях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самойлов, Е.Н. Борьба с шумом и вибрацией в строительстве и на предприятиях стройиндустрии / Е.Н. Самойлов, В.В. Сафонов / Киев, «Будівельник». – 1979. – 152 стр.
2. Северянин, В.С. Пульсирующее горение – способ интенсификации теплотехнических процессов: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / В.С. Северянин. – Саратовский политехнический институт, 1987.
3. Северянин, В.С. Способ шумоглушения устройств пульсирующего горения. Патент РФ №14942, С1, F23C15/00, 2017г.
4. Политехнический словарь / Гл. ред. Ишлинский А.Ю. – М.: «Советская энциклопедия», 1989. – С. 137–138.
5. Попов, В.А. Технологическое пульсационное горение / В.А. Попов, В.С. Северянин, А.М. Аввакумов. – М.: «Энергоатомиздат», 1993. – С. 320.
6. Прикладные исследования вибрационного горения / В.Н. Подымов [и др.]. – Изд. Казанского ун-та, 1978. – С. 173–175.
7. Северянин, В.С. Оценка амплитуды давления при пульсирующем горении / В.С. Северянин, В.М. Яскевич // Журнал Известия ВУЗов СССР, серия «Энергетика», №2. – 1983. – С. 89–90.

ИННОВАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЕМЫХ ПРИ РЕНОВАЦИИ СТАРЫХ ЗАСТРОЕК

А.В. Вавилов, зав. кафедрой «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса», д.т.н., профессор, иностранный член РААСН

*И.В. Бурмак, старший преподаватель кафедры «Механизация и автоматизация дорожно-строительного комплекса»
Белорусский национальный технический университет*

В последние годы стали увеличиваться объемы работ по реновации старых застроек – зданий и сооружений. В результате их разрушения в больших объемах накапливаются отработанные бетонные и железобетонные конструкции, деревянные окна и двери, битый кирпич и стекла, рубероид и т.д., из которых в результате их переработки можно получать вторичные полезные продукты, однако до сих пор отсутствуют рекомендации по выбору эффективного оборудования для такой переработки [1].

На данный момент в мире существует множество разнообразных технических средств по переработке рассматриваемых отходов.

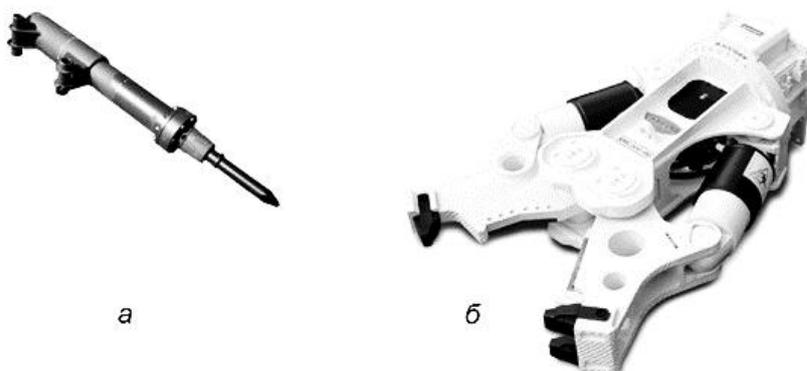
Для изготовления дробленого бетона (щебня) при реновации старых застроек используются только колонны, балки, железобетонные плиты, стеновые панели и другие элементы строитель-

ных конструкций. К основным этапам дробления железобетонных конструкций можно отнести следующие [2]:

1. Доставка на производственную площадку железобетонных отходов;

2. Визуальный осмотр и сортировка отходов.

3. Первая стадия измельчения вторсырья при помощи гидравлического молота и ножниц (рис. 1), как навесных рабочих органов к одноковшовым гидравлическим экскаваторам. Необходимость в первичной стадии дробления обуславливается тем, что выпускаемые дробилки позволяют принимать некондиционный железобетон размерами, ограниченными по длине до 2–3 и по ширине до 1 м. При наличии специального оборудования дополнительно осуществляется отделение от железобетона арматуры, которая затем отправляется на переработку.



*Рис. 1. Сменные рабочие органы для первичного разрушения бетона и железобетона:
а) гидромолот; б) гидроножницы*

4. Дробление бетонного лома.

5. Распределение частиц по зерновому составу с помощью сортировочных машин.

Общие принципы создания технологического оборудования для переработки бетона и железобетона возможно, благодаря применению существующего дробильно-сортировочного оборудования, используемого при переработке битого камня из карьеров [3]. Однако при определении конструктивных параметров дробильной установки, предназначенной для железобетона, необходимо учитывать наличие арматуры и невозможность точного контроля формы и размеров подаваемого материала. В связи с этим определенные узлы дробильных установок для железобетона значительно более металлоемки и размер их по сравнению с аналогичными узлами обычных дробильных установок такой же производительности больше. Вызвано это, прежде всего, необходимостью пропускания арматуры через установку. В результате коэффициент полезного действия установок значительно ниже, чем обычных камнедробильных.

В то же время, чем крупнее установка первичного дробления, тем меньше подготовки требует подаваемый материал.

Основными узлами установок первичного дробления железобетонных изделий являются: гидравлический рычажный пресс, колосниковый стол, направляющая рама и гидростанция, развивающая давление 20 МПа. Рабочее положение гидравлического пресса может быть различным: пресс перемещается вдоль неподвижного колосникового стола с лежащим на нем изделием, или занимает стационарное положение, а изделие при этом подается в зону разрушения подвижным столом. Разрушение некондиционного бетона и железобетона осуществляется следующим обра-

зом. На колосниковый стол краном укладывается некондиционное железобетонное изделие или посредством переносного бункера выгружаются бетонные отходы; на разрушаемое изделие опускается рычажный пресс (нож), работа которого заключается в чередовании цикла опускания и поднятия. По мере разрушения изделия дробильный материал проваливается через колосниковую решетку стола на ленточный конвейер и переносится на установку вторичного дробления. Куски арматурной стали из массы дробленого бетона, прошедшие через колосники стола, извлекаются в зоне выхода ленты конвейера магнитным отделителем. Арматурный каркас, очищенный от бетона, с колосникового стола снимается подъемным механизмом и в дальнейшем перерабатывается.

Широкое применение при измельчении некондиционного железобетона получили щековые дробилки (рис. 2, а), не имеющие препятствий (например, по сравнению с дробилками ударного действия) затрудняющих прохождение материала. При правильном поступлении в нее железобетона и достаточном зазоре между зоной выхода дробленого материала и отводящего конвейера разрушение железобетона производится достаточно эффективно. Для удаления арматурных изделий, извлеченных из бетона, широкое распространение получили магнитные надконвейерные сепараторы (рис. 2, б).

Для переработки древесины (бревен, оконных проемов с металлическими включениями и др.) широкое применение получили промышленные шредеры (измельчители) (рис. 3) [4], используемые для первичного (грубого) измельчения древесных отходов и др. до фракции 20...150 мм. К преимуществам данных агрегатов по сравнению, например, с рубильными машинами можно отнести:

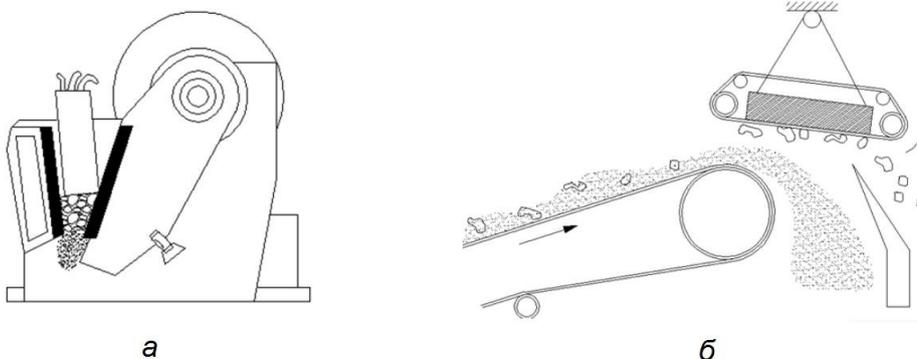


Рис. 2. Дробильно-сортировочное оборудование для отходов бетона и железобетона: а) щековая дробилка; б) удаление арматуры надконвейерным магнитным сепаратором

- возможность измельчать отходы большей толщины;
- меньший износ ножей, за счет более медленного вращения ротора;
- ниже стоимость обслуживания;
- меньший уровень шума.

Конструктивно шредеры для древесных отходов могут быть однороторными с гидравлической пресс-плитой, двухроторные и четырехроторные.

Однороторный (одновальный) шредер (рис. 4) – это низкооборотный измельчитель с гидравлической пресс-плитой (подпрессовщиком) для дробления отходов древесины (в первую очередь бревен) большой толщины и высоким сопротивлением к измельчению.

Материал для измельчения подается в загрузочный бункер 1 шредера. Загрузка материала мо-

жет осуществляться вручную или механически, с помощью наклонного конвейера или погрузчика. Гидравлическая пресс-плита 2 возвратно-поступательным движением прижимает поступающий материал к вращающемуся ротору 4, с установленными на нем ножами, которые и осуществляют измельчение. При предельном давлении на режущий вал шредера пресс-плита автоматически прекращает подачу материала и возвращается в исходное положение. Процесс измельчения продолжается до тех пор, пока частицы измельчаемого материала не смогут пройти сквозь ячейки фракционного сита 5, установленного под ротором шредера. Размер фракции конечного материала зависит от диаметра ячейки фракционного сита (20...150 мм). Роторы одновальных шредеров изготавливают гладкими и профилированными

с покрытием из износостойчивых сплавов.

Двухроторные шредеры (рис. 5) и их четырехроторные модификации представляют собой камеру дробления, где навстречу друг другу вращаются валы, оснащенные дисковыми ножами специальной формы с захватывающими зубьями. Они расположены так, что режущий диск одного вала всегда находится между дисками другого. Двухроторные шредеры благодаря высокому вращающему моменту позволяют измельчать практически любые древесные отходы.

При загрузке отходов в загрузочный бункер 1 они захватываются ножами 2 в виде крюков и режущими дисками 3, смонтированными на двух валах, двигающихся навстречу друг другу и измельчаются до необходимой фракции. А боковые накладочки 4 очищают ножи, диски и обеспечивают ссыпание материала вниз.

Необходимо эффективное оборудование для переработки рубероида прежде всего в битумный порошок [5]. В настоящее время наибольшее применение получили два метода по переработке отходов рубероида:

1) термический (является энергозатратным, трудоемким и требует изготовления сложного и громоздкого, технологического оборудования; также при термическом воздействии на битумы происходит ухудшение их физико-механических свойств; плюс ко всему, вопрос по переработке

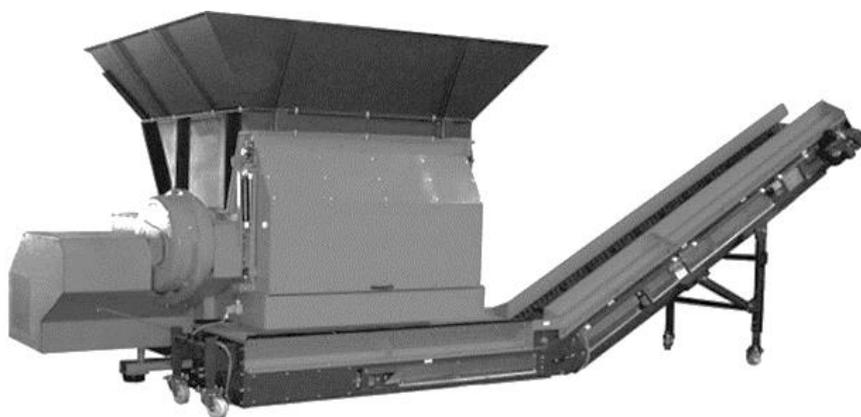


Рис. 3. Общий вид шредера

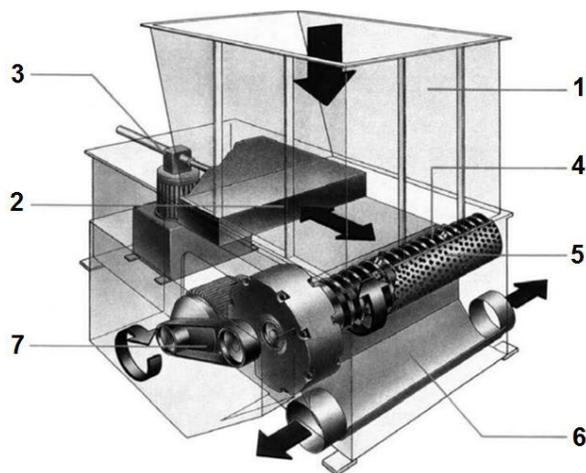


Рис. 4. Конструктивная схема однороторного шредера:

- 1 – загрузочный бункер; 2 – гидравлический пресс (пресс-плита); 3 – регулировочное устройство; 4 – ротор; 5 – фракционное сито; 6 – приемная емкость; 7 – привод

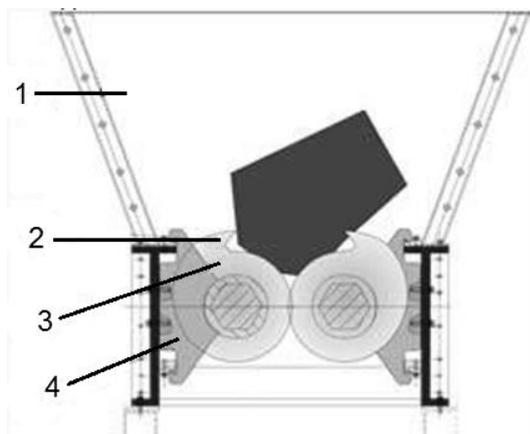


Рис. 5. Конструктивная схема двухроторного шредера:

1 – загрузочный бункер; 2 – ножи; 3 – диски;
4 – боковые накладки

картона в данном методе не решается);

2) механический (процесс осуществляется в специальных измельчителях, в результате чего образуется битумная крошка).

Суть последнего способа сводится к выполнению следующих основных операций, увязанных в единую технологическую линию (рис. 6,7).

Перед подачей материала на транспортер 1 (рис. 6) его необходимо разрезать на куски, соответствующие ширине ленты и приемному отверстию камеры дробления, с помощью резчика кровли. После стадии дробления материал направляется на сортировку, а затем – в соответ-

ствующие контейнеры (4) с картонной основой и битумным порошком.

Актуален вопрос переработки битого стекла, которое приходится завозить извне. Для переработки стекла, извлекаемого из оконных проемов, межкомнатных дверей, а также для любых других стеклянных отходов, целесообразно использовать мини-завод (рис. 8) [6] с целью дальнейшего получения мелкодисперсного порошка.

Рассматриваемый завод должен включать в себя следующие площади и технические средства:

- станция размещения и временного хранения отходов стекла;
- погрузочно-разгрузочные машины;
- конвейеры для транспортировки;
- электронное оборудование для сортировки исходного сырья по цвету;
- водяные установки для очищения боя от загрязнений;
- электромагнитное оборудование для определения металлических частиц в стеклянном бое;
- дробилки для измельчения стеклянного боя до состояния мелкодисперсного порошка;
- упаковочные машины.

Выводы.

Применение вышерассмотренных технических средств по переработке отходов в процессе реновации старых застроек позволит прежде всего решать экологическую проблему, а также снизить затраты на импортируемые строительные и энергетические материалы.

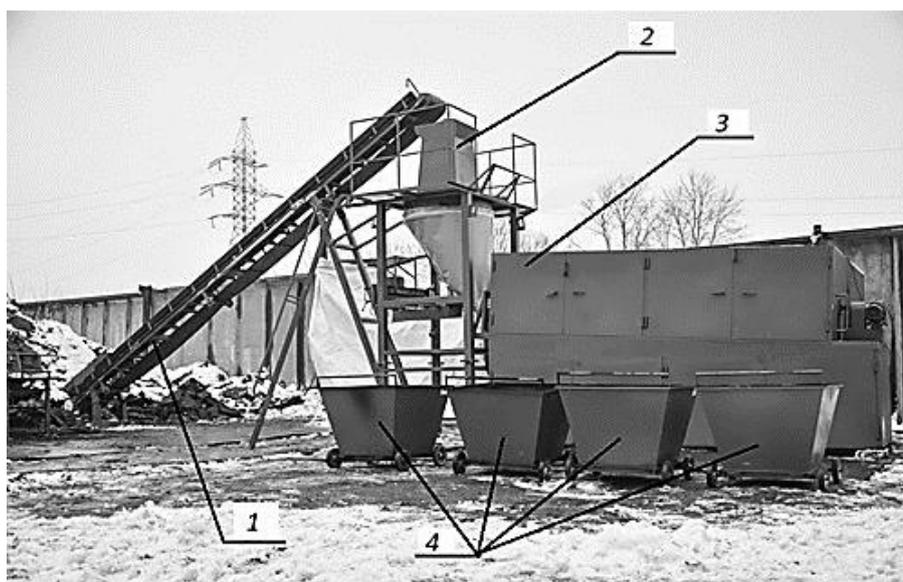


Рис. 6. Технологическая линия для переработки отходов рубероида:

1 – ленточный транспортер; 2 – дробильный агрегат; 3 – вибрационный грохот; 4 – контейнеры для материала

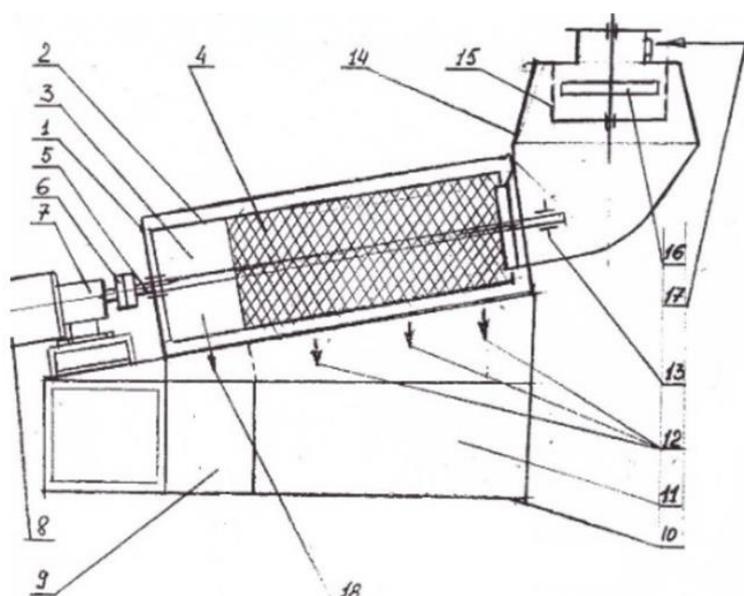


Рис. 7. Агрегат для измельчения и сортировки отходов рубероида:
 1 – корпус установки; 2 – вращающийся шестиугольный каркас; 3 – конечная часть каркаса без сетки;
 4 – сетка; 5 – вал; 6 – муфта;
 7 – редуктор, 8 – электродвигатель;
 9 – секция сбора картона; 10 – нижний короб аппарата; 11 – секция сбора битумного порошка; 12 – направление ссыпания отсеянного битумного порошка; 13 – подшипниковая опора;
 14 – наружный корпус узла дробления; 15 – цилиндрическая сетка узла дробления, 16 – нож узла дробления;
 17 – подача измельчаемого материала на дробление, 18 – конечная часть барабана для выхода картона

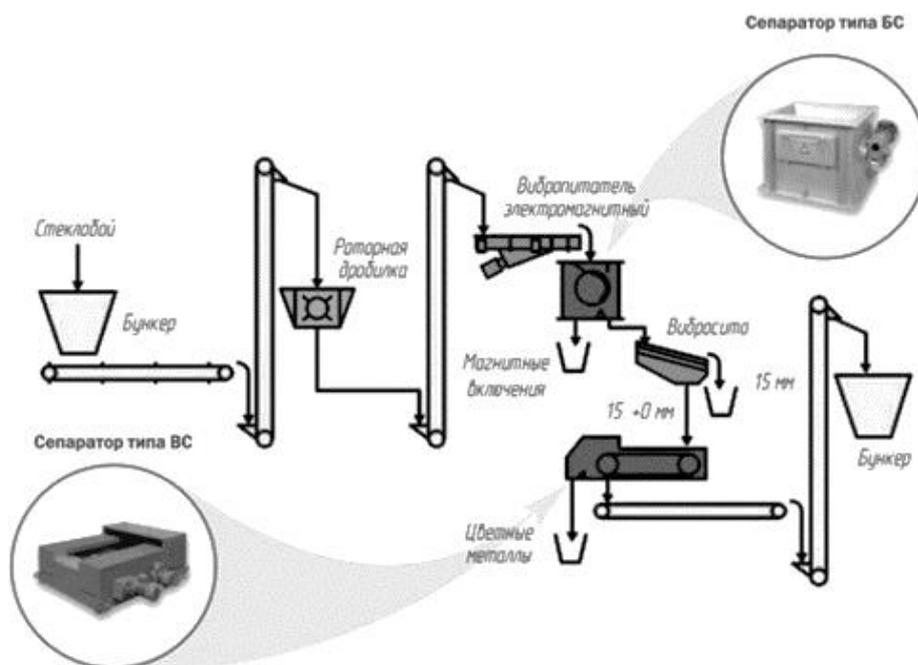


Рис. 8. Технологическая линия для переработки отходов стекла в порошок

Литература

1. Вавилов, А.В. ТКО целлюлозобитумосодержащие и минерального происхождения: получение вторичных продуктов / А.В. Вавилов, – Минск: Жилкомиздат, 2018. – 176 с.
2. <https://vtorothody.ru/othody/zhelezobetonnyh-izdelij.html>
3. Штриплинг, Л.О. Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов: учебное пособие / Л.О. Штриплинг, Ф.П. Туренко – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 192 с.
4. <http://drobienie-pressovanie.ru/wp-content/uploads/2013/04/EZ-18.3-300x141.png>
5. Бурмак, И.В. Оборудование для переработки отходов рубероида / И.В. Бурмак // Материалы 17-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» - Минск: БНТУ, 2019.
6. <http://promtu.ru/mini-zavodyi/organizatsiya-pererabotki-stekla#gallery-7>.

УДК 69.05–82–229.384

МОДЕРНИЗАЦИЯ ШЕСТЕРЕННЫХ НАСОСОВ ПРИВОДОВ ОБОРУДОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ МАШИН

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Рационализация систем отбора мощности силовой установки на привод ходового оборудования и рабочих органов технологического оборудования машин инженерного вооружения осуществляется в направлении применения гидравлических объемных приводов на базе современных насосов регулируемого объема. Анализ показал, что насосы шестеренные обладают меньшей материалоемкостью по сравнению с аксиально-поршневыми насосами.

В рамках поиска направлений рационализации систем отбора мощности силовой установки на привод ходового оборудования машин инженерного вооружения рассмотрена возможность создания насосов шестеренных регулируемого эффективного объема для работы в закрытом гидравлическом контуре на базе шестеренного насоса постоянного объема и гидрораспределительного модуля с регулируемыми параметрами [1].

Насос шестеренный переменного эквивалентного объема (*рис. 1*) включает шестеренный насос постоянного объема 1 и гидрораспределительный модуль 2, обеспечивающий изменение эквивалентного рабочего объема насоса шестеренного и реверсирование потока рабочей жидкости.

Шестеренный насос постоянного объема 1 содержит шестерни 3, 4, образующие в корпусе 5 полости: всасывающую 6, и напорную 7. Шестерня 3 выполнена заодно с приводным валом 8.

Гидрораспределительный модуль 2 [2] включает неподвижную распределительную втулку 9, закрепленную в корпусе 10, подвижную распределительную втулку 11, установленную с возможностью поворота на угол 180° , и ротор 12, связанный с приводным валом 8. На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной

втулки 9 образованы шесть сегментных пазов 13, 14, 15, 16, 17, 18 с центральными углами, составляющими $\approx 90^\circ$. Полости сегментных пазов 13, 17 связаны между собой каналом 19, и с полостью сегментного паза 16 – каналом 20 и трубопроводом 21. Полости сегментных пазов 14, 18 связаны между собой каналом 22, и с полостью сегментного паза 15 – каналом 23 и трубопроводом 24. Насос шестеренный включается в гидросистему посредством подключения гидравлических магистралей к каналам 25, 26, связанных с каналами 19, 22. На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 11 образованы четыре группы продольных каналов 27, 28, 29, 30, выполненных диаметрально противоположными и смещенными по оси, и углу на 180° , и две кольцевые канавки 31, 32.

На цилиндрической поверхности ротора 12 образованы две кольцевые канавки 33, 34, и по оси ротора 12 – два продольных канала 35, 36 связанные с полостями кольцевых канавок 33, 34. Также, на цилиндрической поверхности ротора 12 образованы четыре группы продольных каналов 37, 38, 39, 40 – по два диаметрально противоположных канала в группе, смещенных по оси, и расположенных в зонах продольных каналов 27, 28, 29, 30. Полости продольных каналов 37, 40 связаны с полостями кольцевых канавок 33, 34. Полости продольных каналов 38, 39 связаны с полостями продольных каналов 35, 36. Кольцевые канавки 33, 34 образованы в зонах кольцевых канавок 31, 32 и связаны с ними радиальными каналами. Всасывающая полость 6 связана каналом 41, трубопроводом 42, каналом 43 с полостью кольцевой канавки 32. Напорная полость 7 связана каналом 44, трубопроводом 45 с полостью кольцевой канавки 31.

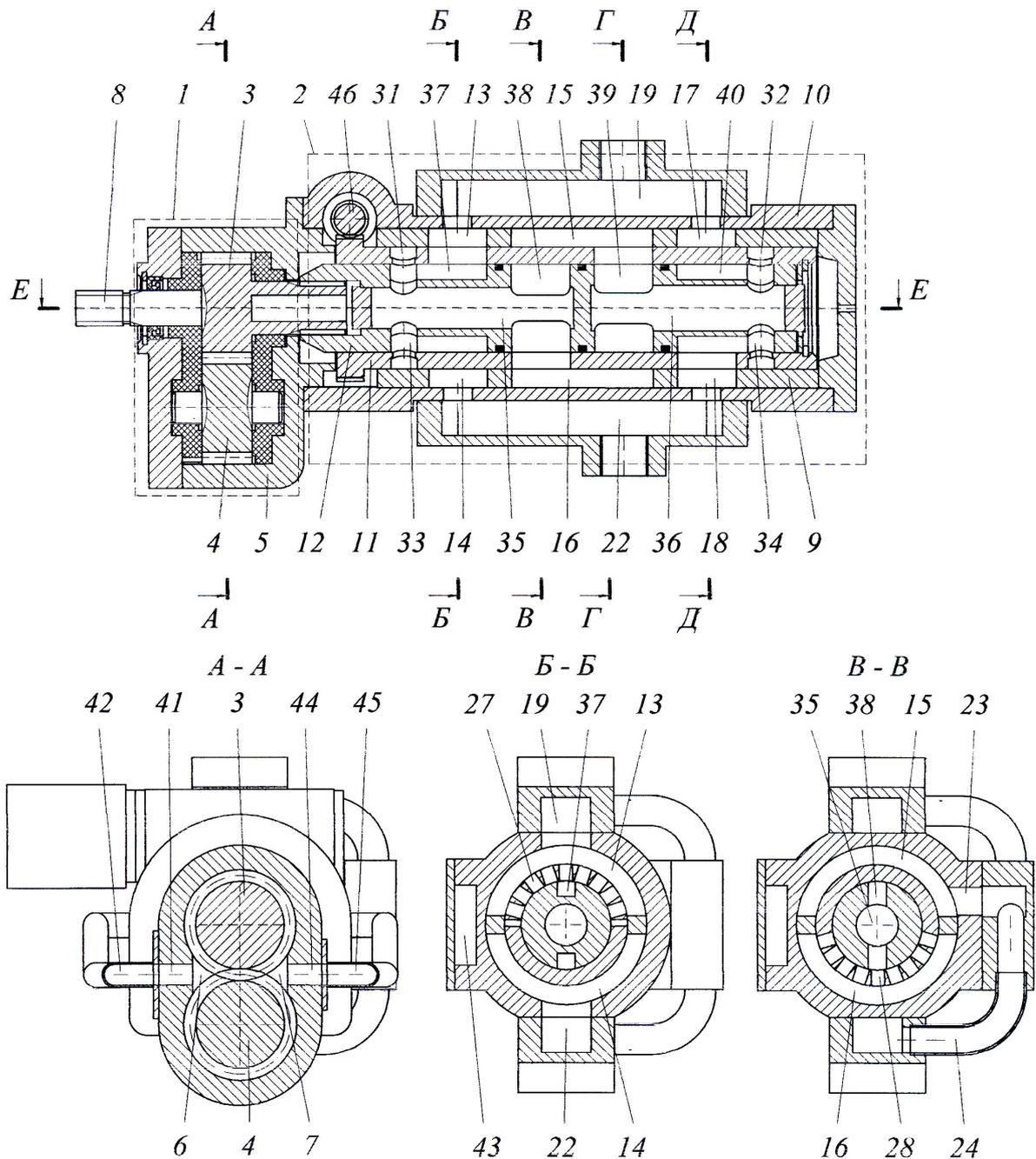


Рис. 1. Насос шестеренный

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 9 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 46 червячного зацепления подвижной распределительной втулки 9 осуществляется автономным двигателем.

При исходном положении (условно) подвижной распределительной втулки 11 магистраль гидросистемы, подключенная к каналу 26 явля-

ется всасывающей, а магистраль, подключенная к каналу 25 – напорной. Рабочая жидкость из магистрали гидросистемы по каналам 26, 22, трубопроводу 24, каналу 23 поступает в полости сегментных пазов 14, 15, 18. Далее по продольным каналам 29, 30, 39, 40, 36, рабочая жидкость поступает в полости кольцевых канавок 34, 32, и по каналу 43, трубопроводу 42, каналу 41 во всасывающую полость 6 шестеренного насоса 1

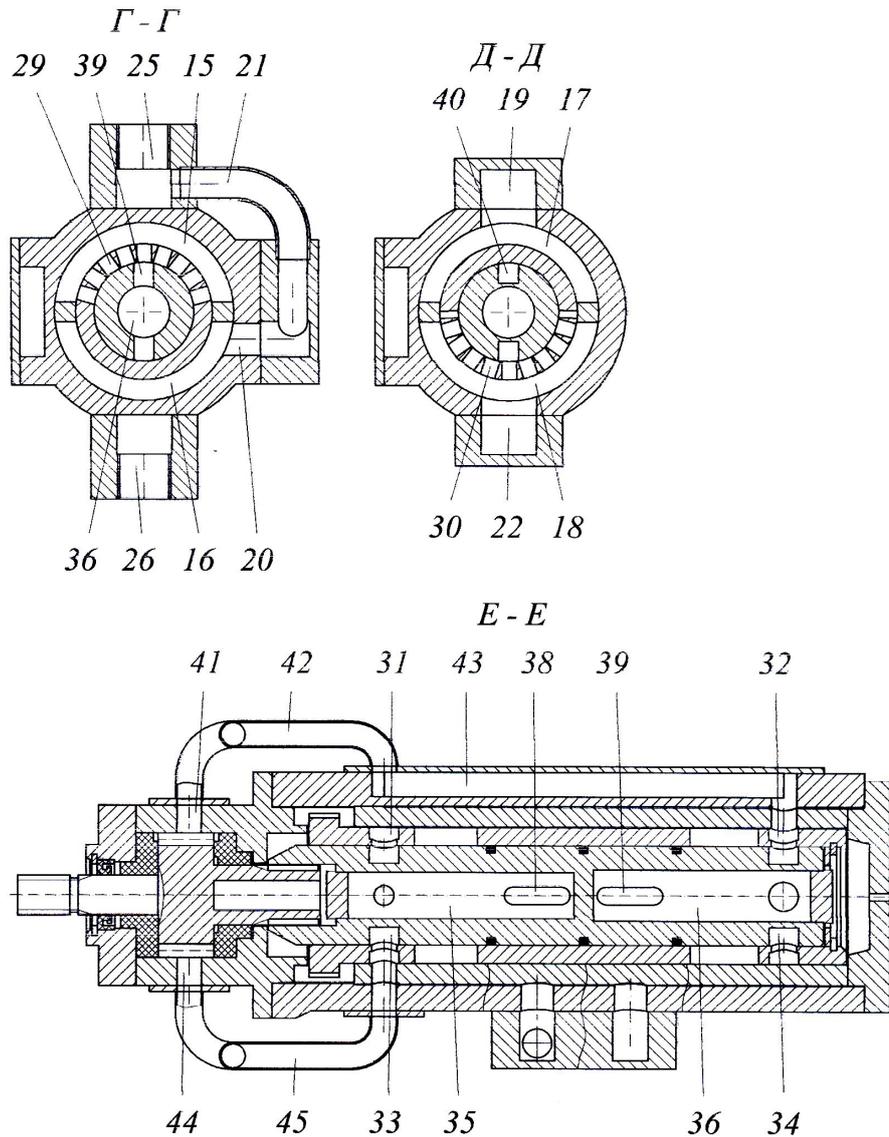


Рис. 1 (продолжение). Насос шестеренный

постоянного объема. Из напорной полости 7 рабочая жидкость по каналу 44, трубопроводу 45 поступает в полости кольцевых канавок 31, 33 и канала 35, далее по продольным каналам 35, 37, 38, 27, 28 в полости сегментных пазов 13, 16, и по каналу 20, трубопроводу 21, каналам 19, 25 в напорную магистраль гидросистемы. В данном положении подвижной распределительной втулки 11 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную к каналу 25.

При повороте подвижной распределительной втулки 11 посредством автономного двигателя и червяка 46 на угол 90° , например, по часовой

стрелке от исходного положения, половина продольных каналов 27, 28 переместятся в зоны сегментных пазов 14, 15. Также, половина продольных каналов 29, 30 переместятся в зоны сегментных пазов 16, 17. В данном положении подвижной распределительной втулки 11 обеспечивается минимальный (нулевой) эквивалентный объем насоса шестеренного и минимальная (нулевая) подача рабочей жидкости в напорную магистраль.

При повороте подвижной распределительной втулки 11 на угол 180° от исходного положения продольные каналы 27, 28 переместятся в зоны сегментных пазов 14, 15, а продольные каналы 29, 30 – в зоны сегментных пазов 16, 17. Магистраль

гидросистемы, подключенная к каналу 25 становится всасывающей, а магистраль, подключенная к каналу 26 – напорной. В данном положении подвижной распределительной втулки 11 обеспечивается максимальный эквивалентный объем насоса шестеренного и максимальная подача рабочей жидкости в напорную магистраль, подключенную к каналу 26. Поток рабочей жидкости насоса шестеренного реверсирован.

Изменяя положение подвижной распределительной втулки 11 в диапазоне $0\div 180^\circ$ посредством автономного двигателя и червяка 46 добиваемся плавного изменения эквивалентного объема насоса шестеренного и параметров подачи рабочей жидкости в напорную магистраль потребителя в диапазоне от нулевого до максималь-

ного значений, и реверсирования потока рабочей жидкости насоса шестеренного.

Предлагаемые подходы к созданию шестеренных насосов переменного эквивалентного объема позволяют создавать типоразмерные ряды регулируемых насосов на базе шестеренных насосов и типоразмерных рядов гидрораспределительных модулей предлагаемой конструкции. Модульный принцип построения не исключает возможности применения шестеренных насосов постоянного объема без гидрораспределительных модулей. Данное направление развития шестеренных насосов переменного эквивалентного объема является весьма перспективным, и не требует существенного пересмотра сложившихся технологий производства насосов.

Список литературы

1. Насос шестеренный: пат. 12072 U, Республика Беларусь, МПК F 15B 11/00 (2006.01) / А.И. Герасимюк, С.И. Воробьев, Е.А. Есмантович, А.Я. Котлобай, А.А Котлобай; заявители: А.И. Герасимюк, С.И. Воробьев, Е.А. Есмантович, А.Я. Котлобай, А.А Котлобай (BY). – № u 20190067; заявл. 2019.03.21; опубл. 2019.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2019. – № 4.
2. Реверсируемый аксиально-поршневой насос: пат. 22258 C1 Респ. Беларусь, F15B 11/22 (2006.01) / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № а 20150369; заявл. 2015.07.09; опубл. 2018.12.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2018. – № 6.



**X Всеукраїнська науково-технічна конференція
з міжнародною участю**

**ПРОЦЕСИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ,
ВЕРСТАТИ ТА ІНСТРУМЕНТ**

м. Житомир, 6–9 листопада 2019 р.

Н.А. Балицкая, к.т.н., доц.,

Государственный университет «Житомирская политехника»

**РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОСКИХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТОРЦЕВОМ
ФРЕЗЕРОВАНИИ**

Проблема качества плоских поверхностей деталей машин на сегодня является одной из важнейших в машиностроении. Она обуславливает необходимость решения различных задач по совершенствованию конструкций оборудования, инструмента, технологий обработки и тому подобное.

Качество поверхности и поверхностного слоя оценивается по показателям, которые можно разделить на две группы:

- геометрические показатели поверхности;
- физико-механические свойства поверхностного слоя.

К геометрическим показателям качества относят точность размеров, отклонения формы,

волнистость, шероховатость. К физико-механическим свойствам поверхностного слоя принадлежат микротвердость, остаточные напряжения, структура, химический состав.

Основными факторами, определяющими показатели качества поверхности, являются: точность и жесткость всей технологической системы; режимы резания; схема резки и стратегия обработки; конструктивные и геометрические параметры инструмента, его износостойкость; температура и способ охлаждения зоны резания; способ отвода стружки, продолжительность обработки и тому подобное.

Наиболее распространенным методом обработки плоских поверхностей деталей машин яв-

ляется торцевое фрезерование, что обеспечивает высокую производительность и оптимальные показатели качества обработанных поверхностей. Таким образом, постоянно ужесточаются требования к качественным показателям поверхностей заготовок полученных торцевым фрезерованием, что вызывает необходимость непрерывного совершенствования технологий фрезерования и их инструментального обеспечения.

Специалисты ведущих фирм-производителей режущего инструмента и машиностроительных предприятий дают следующие рекомендации для обеспечения высокого качества поверхности и поверхностного слоя при торцевом фрезеровании:

- диаметр фрезы должен быть в 1,2–1,5 раза больше ширины заготовки;
- применять попутное фрезерование для улучшения условий отвода стружки и повышения устойчивости ножей фрез, особенно твердосплавных;
- учитывать максимальную толщину стружки и расположения фрезы относительно заготовки для выбора оптимальной подачи;
- для получения зеркальной поверхности применять высокоскоростное резание и пластины из керметов;
- обеспечивать получение толстой стружки на входе и тонкой стружки на выходе ножа из зоны резания для уменьшения вибраций путем выбора правильной стратегии обработки (установка фрезы со смещением относительно оси заготовки, с круговой подачей, с непрерывной врезкой фрезы);
- минимизировать количество врезок для уменьшения напряжений в инструменте, повышения его устойчивости и уменьшения колебаний;

– избегать фрезерования прерывистых элементов поверхностей (отверстий, пазов), поскольку это нагружает режущие кромки инструмента, создает дополнительные врезания и выходы ножей из зоны резания, или уменьшать вдвое рекомендуемую величину подачи на участке заготовки с такими элементами;

– для фрез с круглыми пластинами важно уменьшать подачу при подходе к стенке или уступа, поскольку глубина резания в таких местах резко увеличивается;

– применять стандартные пластины в сочетании с одной или двумя пластинами Wiper, при этом подача увеличивается до 4 раз без потери качества обработки;

– для фрезерования вязких материалов использовать СОЖ или масляный туман;

– применять пластины с покрытием PVD с острыми кромками на глубинах резания 0,5-0,8 мм;

– для обработки жаропрочных сплавов выбирать фрезы с круглыми пластинами, поскольку они имеют наиболее прочные режущие кромки обеспечивающие плавное резание;

– выбирать фрезы с мелким шагом ножей, а при большой ширине контакта применять фрезы с неравномерным шагом ножей, которые сдерживают возникновение гармонических колебаний и уменьшают вибрации.

Обеспечение высокого качества поверхностей после торцевого фрезерования, которое часто является завершающим этапом обработки, позволит обеспечить также и высокие эксплуатационные характеристики готовых деталей машин, важнейшими из которых являются износостойкость и сопротивление усталости материала.



Рис. 1. Показатели качества поверхности и поверхностного слоя

*Е.К. Посвятенко, д.т.н., проф.,
Н.І. Посвятенко, к.т.н., доц.,
Національний транспортний університет*

ЕВОЛЮЦІЯ ФРЕЗИ

Кінематика фрезерування полягає у обертанні фрези навколо своєї осі і руху подачі оброблюваної деталі або цього інструменту. Рух подачі, головним чином, є прямолінійним. За рівнем продуктивності фрезерування поступається тільки зовнішньому протягуванню. Із загального парку металообробного обладнання у машинобудуванні питома вага фрезерних верстатів сягає понад 20 %. Фрези вирізняються великою різноманітністю типів, форм і призначення.

Щодо історії фрези. Цей металорізальний інструмент є відносно молодим: перші фрези виникли і були використані у машинобудуванні у 30-х роках XIX ст., тобто при завершенні промислової революції кінця XVIII – початку XIX ст.ст.

Попередником фрезерного верстату слід вважати універсальний токарно-гвинторізний верстат Генрі Модслі з механізованим рухомим супортом, що переміщувався у поздовжньому і поперечному напрямках. Супорт було створено у 1794 р., а завершено роботу над конструкцією токарного верстату у 1800 р. На зламі названих століть було винайдено вуглецеву інструментальну сталь із вмістом вуглецю 0,6–1,5 %, кремнію 0,2–0,4 % і марганцю 0,15–0,35 %. Перші фрези були виготовлені саме із такої сталі, що забезпечувало процес різання на швидкостях 6–11 м/хв.

Найбільш досконалий на той час фрезерний верстат учня Г. Модслі Джеймса Несміта (1830 р.) був фактично спеціалізованим токарним верстатом зі зміненою кінематичною схемою. Водохолоджувана фреза вставлялася у патрон, а деталь кріпилася на оправці з пристроєм повороту на 60°.

Слід зазначити, що у першій половині XIX ст. зубчасте колесо завдяки дослідженням профілювання і, у першу чергу, за схемою евольвенти, механізованому поділу заготовки, а також створенню спеціалізованого зубофрезерного верстата з супортом Г. Модслі і використанням дискових

та пальцевих модульних фрез, набуло практично сучасного вигляду. Фрезерні верстати стають основою вертикально-, горизонтально-фрезерних, верстатів для фрезерування зубчастих коліс, нарізання різьби фрезеруванням і т.п. У 1855 р. у США Брауном спроектовано перший фрезерний верстат для нарізання зубчастих коліс огинанням. У подальшому у цій державі було створено цілу гаму фрезерних верстатів «Лінкольн».

Електродвигун, як основа приводу, на початку 80-х років XIX ст. став замінювати парову машину, яка домінувала у машинобудуванні як привід металорізальних верстатів понад 100 років. У цей же час почалось удосконалення передачі енергії від двигуна до робочої машини. Ще у кінці століття можна було бачити у цеху центральний привідний вал і систему пасових передач від останнього до верстату у кожному механічному відділенні чи цеху у цілому.

Потім на промислових підприємствах було введено груповий електропривод, який передбачав розосередження енергії одного потужного електродвигуна на кілька менш потужних і розміщення останніх безпосередньо у цеху. При цьому кожна із груп верстатів мала свій привід і більш точне та гнучке управління. Однак, лише впровадження індивідуального електроприводу за схемою «один електродвигун – один верстат» спростило конструкцію останнього і дозволило повністю відмовитись від громіздких пасових передач.

Визначна роль у розвитку фрези і процесу фрезерування належить харківському вченому і винахіднику В.С. Кнаббе (9.02.1849–2.08.1914 рр.) У 1892 р. він видав фундаментальну монографію «Фреза и ея роль в современном машиностроении», де узагальнив досвід кількох десятків передових європейських підприємств із новою на той час технологією фрезерування, а також визначив напрямки розвитку цієї технології і власне фрези.

Велика заслуга В.С. Кнаббе полягає в тому, що він уперше вивчив і узагальнив величезний матеріал щодо використання фрези у виробництві.

Ним показані початкові хибні тенденції у розвитку фрези як різального інструменту, які полягали у наданні їй максимально можливого за складністю профілю і великої кількості дрібних «ножовочних» зубців. Перше призводило до дорожчечі фрез та низької технологічності їх виготовлення, а друге – до зниження продуктивності фрезерування, оскільки процес потрібно було часто зупиняти для очистки міжзубового простору від запакованої стружки, а також до проблем з переточками затупленого інструменту. Вченим підкреслено, що успіх фрези (шарошки) у виробництві залежить від неодмінного застосування крупних зубців, які менше забиваються стружкою порівняно з дрібними; від винайдення способу заточувати затуплені фрези і від здешевлення виготовлення самих фрез. Важливим результатом досліджень В.С. Кнаббе є науково обгрунтоване визначення тієї області обробки матеріалів різанням, де застосування фрезерування є найбільш вигідним. З позицій загальних принципів обробки деталей, що вимагали копіювання, В.С. Кнаббе науково обгрунтував переваги фрезерування перед іншими технологічними операціями обробки металів. Ним зроблено висновок про доцільність закладання в проекти нових машинобудівних заводів саме фрезерних верстатів для зниження собівартості продукції. У Західній Європі книга стала відомою у 1893 р. завдяки авторському перекладу німецькою мовою і отримала схвальні відгуки авторитетних науковців та інженерів.

У ще одній своїй книзі «Современные машиностроительные заводы и применяемые ими новые способы холодной обработки металлов» автор детально досліджує історію створення швидкорізальної сталі, починаючи з винайдення у 1861 р. самогартівної сталі Р. Мушета, яка першою з інструментальних сталей була легрована вольфрамом, кількість якого доходила до 5,5 %. Досліди з вольфрамвміщуючою сталлю, що були проведені у 1900 р. У США у заводських умовах, показали переваги сталі Тейлора-Уайта над сталлю Мушета по стійкості інструменту в 11–30 разів. У праці В.С. Кнаббе розкрито суть патенту Тейлора, яка полягає в особливості способу нагрівання і гартування, що призвело до перевероту у справі термообробки сталевих інструментів. Компетентне дослідження історії створення швидкорізальної сталі, яке було ви-

кладено В.С. Кнаббе вперше, супроводжувалось також глибоким аналізом причин, які перешкоджали широкому впровадженню цієї сталі у виробництво. Швидкорізальна сталь, як відомо, і на сьогодні є основним матеріалом для виготовлення фрез.

Матеріали для фрез. Як відзначалось вище, такими матеріалами були спочатку інструментальні евтектоїдні та заевтектоїдні сталі, які на початку ХХ ст. замінили сталь Тейлора–Уайта (сучасне маркування Р18). Потім її замінила сталь Р6М5 (з метою зменшення частки дефіцитного вольфраму). Сталь Р6М5 має наступні механічні властивості: твердість 63–64 HRC; границя міцності на згинання 2900–3400 МПа, ударна в'язкість 2,7–4,8 Дж/м² і теплостійкість 600–620 °С. Найбільше застосування серед кобальтових та ванадієвих швидкорізальних сталей для фрез мають марки: Р6М5К5 і Р6М5Ф3, які відносять до сталей підвищеної тепло- і зносостійкості. Проте, поряд з високою зносостійкістю, ванадієві сталі мають погану шліфуємість через наявність в них карбідів ванадію (VC), твердість яких не поступається твердості зерен електрокорунду (Al₂O₃). Введення кобальту до складу сталі Р6М5К5 суттєво підвищує твердість до (66–68 HRC) і теплостійкість до (640–650 °С). Крім того, підвищується теплопровідність сталі, оскільки кобальт приводить до такого ефекту. Це дає можливість використовувати сталь Р6М5К5 для фрезерування важкооброблюваних жароміцних і неіржавіючих сталей і сплавів, а також конструкційних сталей підвищеної міцності. У цих випадках період стійкості фрез у 3–5 разів вищий, ніж при використанні сталей марок Р18 та Р6М5.

Проте, слід відзначити, що виробництво сталі Р6М5 від усього обсягу випуску швидкорізальних сталей в Україні сягає 80 %.

Крім того, робоча частина фрез у ряді випадків виконується твердосплавною або із полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ).

Твердосплавні фрези дозволяють підвищити швидкості різання у 2–4 рази, проте значно нижча межа міцності на згин обмежує використання твердих сплавів у конструкції фрез. Титановольфрамкові тверді сплави застосовуються у різальній частині цього інструменту. Сплав марки Т5К10 має червоністьійкість 850–900 °С, межу міцності на згин до 1700 МПа і твердість 87–92 HRA. Це дає можливість застосовувати такий сплав, а також інші споріднені тверді сплави марок Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10 для ножів торцевих фрез.

Фрезы, що оснащені ПНТМ, бувають торцевими, кінцевими, дисковими та черв'ячними. Торцеві фрези, як найбільш розповсюджені вид цього інструменту, випускають з механічним кріпленням вставок, круглих та багатограних різальних пластин; насадні і хвостові; однозубі та багатозубі; однорядні, ступінчасті і багаторядні; фрези для обробки відкритих, напівзакритих і закритих поверхонь. Найбільш розповсюджені в теперішній час є торцеві збірні регульовані фрези з пластинами із ПНТМ або вставками з цього матеріалу. Промисловістю випускаються регульовані торцеві насадні (однорядні та ступінчасті) фрези діаметром 100–800 мм і нерегульовані ступінчасті фрези діаметром 100–400 мм з механічним кріпленням різальних елементів. Для обробки пазів в деталях із важкооброблюваних матеріалів застосовують дискові фрези і пили, які оснащені ПНТМ. При цьому монолітні або двохшарові різальні елементи кріпляться методом паяння з наступним заточуванням. Випускають також дискові фрези з механічним кріпленням змінних вставок із ПНТМ для обробки пазів у деталях із загартованих сталей.

Черв'ячні зуборізні фрези, які оснащені різальними елементами із ПНТМ, працюють за

двома схемами – кромковою та профільною. За типом різальних елементів черв'ячні фрези поділяють на фрези з механічним кріпленням змінних вставок або паяним. Конструктивно черв'ячні фрези можуть складатися з одної або двох напівфрез. Як правило, різальна частина фрези виготовляється із ПНТМ на основі нітриду бору.

Сучасні фрези найчастіше випускають зі зносостійкими покриттями.

Найбільш надійним моношаровим покриттям є плівкове покриття золотистого кольору із нітриду титану (TiN). Товщина цього покриття знаходиться у межах 2–10 мкм, тобто є співрозмірною із шорсткістю основи (твердого сплаву чи швидкорізальної сталі). Твердість покриття сягає 21–36 ГПа, тобто це покриття є надзвичайно зносостійким. При переточуванні фрез, що завжди здійснюють по передній поверхні, покриття залишається неушкодженим і захищає найбільш уразливу задню поверхню зуба. Серед методів фізичного осадження покриттів (PVD), за допомогою яких отримують покриття із нітриду титану, найбільше розповсюдження набув метод КІБ (конденсації речовини з плазмової фази у вакуумі з іонним бомбардуванням). Межа міцності TiN на згин 240 МПа, а температура плавлення 2950 °С.

*Л. Танович, д.т.н., проф.,
Белградський університет, Сербія*

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

Микропроизводство подразумевает создание продуктов с размерами от несколько микрометров до нескольких миллиметров высокой точности размеров из различных материалов. В настоящее время, во всем мире, как в научно-исследовательских учреждениях, так и в промышленности

имеется большой интерес к области микропроизводства. Сегодня микропроизводство интенсивно развивается как ответ на повышающийся спрос на миниатюрную продукцию, изготавливаемую часто в небольших количествах, может иметь сложную форму с особыми требованиями по ка-

честву поверхности. На рис. 1 показаны примеры микропродуктов, а на рис. 2 – промышленные микропроизводственные системы.

Особым случаем миниатюризации являются дигитальные компьютеры, размеры которых в последние 50 лет уменьшились в 10^6 раз.

Многие виды промышленности требуют изго-

товления миниатюрных компонентов, что сопровождается снижением потребления энергии и затрат материалов, используемых в производстве, упрощением обрабатывающих систем, увеличением скоростей, чувствительности и селективности систем, необходимостью использования в технологиях новых эффектов и т.п.

Микрообработка и системы для микрообработки. Микропроизводственные процессы могут быть разделены в четыре главные категории: субтрактивные, аддитивные, форминг и гибридные.

Механические микрообработывающие процессы, в основном, модифицированные или простые конвенциональные макромеханические обрабатывающие процессы, не связанные с размерами изделий. Процессы характеризуются хорошей геометрической взаимосвязью между инструментом и обрабатываемой поверхностью. Это подразумевает использование инструмента с малым радиусом округления режущей кромки. Одним из доминирующих факторов при микрорезании является отношение глубины резания и радиуса округления режущей кромки, связанное с так называемым эффектом минимальной толщины стружки. С ним связана предельная глубина резания, ниже которой стружка не образуется. Механика процесса резания значительно отличается от случая макрообработки, так как в рассматриваемом случае доминирующим является механизм царапания по отношению к классическому скалыванию. Специфика данного процесса требует включения в рассмотрение зернистой структуры материала и всех возможных источников дефектов в нем, приводящих к нестабильности процесса обработки.

В настоящее время в мире делают большие усилия по исследованию и созданию машин микро/мезо-размеров. На рис. 3 показаны прототипы машин, разработанных Northwestern University (NU), которые представляет собою полностью 3-осевые микро/мезо-обрабатывающие центры с ЧПУ, обеспечивающие субмикронную точность обработки.

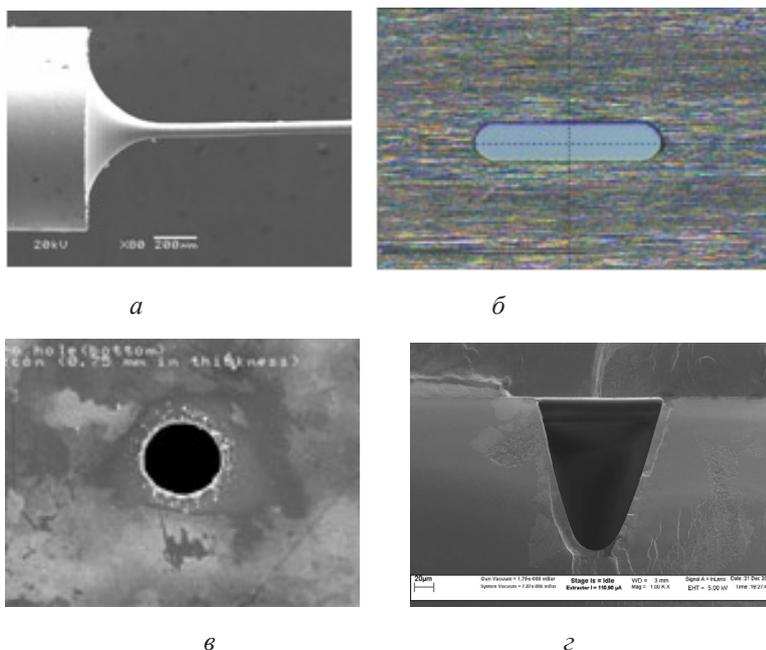


Рис. 1. Вал диаметром 30 мкм (а), паз шириной 100 мкм (б), отверстие диаметром 50 мкм (в), канал шириной 70 мкм (г)

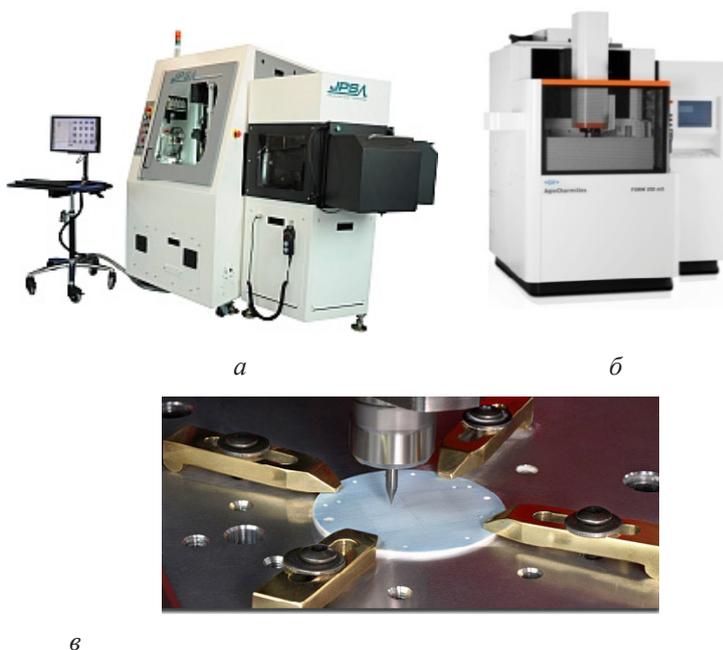


Рис. 2. Промышленные микромашины: а – лазерная система; б – микро-EDM машина; в – стенд для микросверления

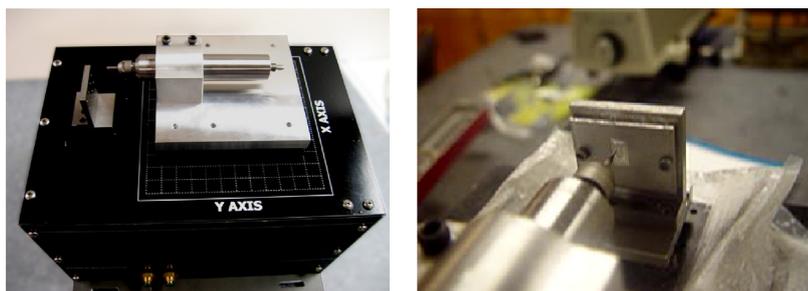


Рис. 3. Машины микро/мезо-размеров: рабочая зона $25 \times 25 \times 25$ мм, подача 700 мм/с, скорость вращения инструмента 120 К мин^{-1}

На вопрос – что обусловило направление развития микромашин, ответ вероятно можно найти в необходимости изготовления новых микроизделий, которые можно производить на таких машинах с большой экономией энергии и сбережением окружающей среды. Необходимо указать на проблемы, присутствующие у таких машин: сложность в управлении по осям, большая подвижная масса, значительные ускорения, необходимость ультрабольшого числа оборотов шпинделя, неточность микроинструментов и низкая точность изготавливаемых изделий. Отмеченные проблемы могут быть частично решены несколькими способами: уменьшением передвигаемых масс, развитием алгоритмов управления, созданием контрольной стратегии достижения требуемой топографии поверхности, введением активной компенсации в обрабатывающие системы и т.д.

Размеры микромашин составляют не более $100 \times 100 \times 100$ мм. Экономия электроэнергии при их использовании $\sim 80 \text{ кВт/день}$ (машины средней мощности $\sim 12 \text{ кВт}$, машины меньшей величины $\sim 2 \text{ кВт}$).

Микро-EDM процессы – это безконтактные процессы, основанные на возникновении дуги или искры между электродами (инструментом и деталью), благодаря которым возникает частичный местный нагрев и плавление обрабатываемого материала. Имеются варианты микро-EDM с использованием электродов и проволоки, которые позволяют изготавливать детали размерами $\geq 5 \text{ мкм}$ (рис. 4).

Несмотря на то, что электроды изнашиваются с меньшей скоростью, чем скорость снятия материала изделия, существует проблема, связанная с потерей точности, что требует развития и использования стратегии компенсации износа электрода. Вторая, более крупная проблема, относится к повреждению обработанной поверхности за счет теплового воздействия и относительного слабого представлении о протекающих явлениях на микроуровне.

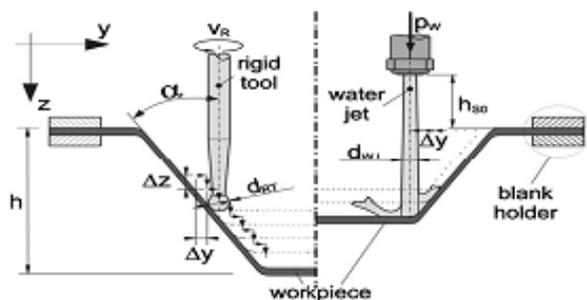


а

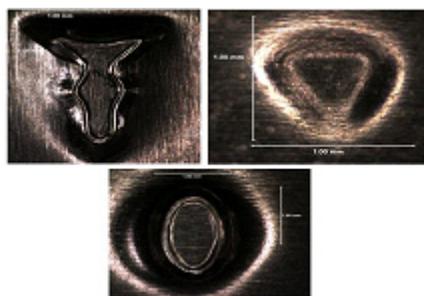


б

Рис. 4. Микрослот, обработанный в микро-EDM-процессе (а), и коммерчески доступная гибридная микро-ЭДМ-машина (б)



а



б

Рис. 5. Схема инкрементного формования одноточечным жестким инструментом (слева) и водяной струей (правым) (а), детали, образованные IF на трехкоординатной машине с ЧПУ Mori-seiki (б)

Микроинкрементальная формовка (IF) - техника формовки металлического листа, выполняемая движущимся универсальным инструментом – формирующим элементом, который перемещается по заранее определенной орбите, приводя до частичной деформации листа к требуемой форме (рис. 5). Эта технология реализуется без изготовления инструмента требуемой формы и позволяет достигнуть лучших свойства материала в сравнении с традиционной формовкой.

Первые исследования в области микро-IF были проведены Saotome и Okamoto, которые разработали ЧПУ-машину для формовки алюминиевой фольги толщины 10 мкм.

Микроштамповка – высокопроизводительный процесс с большой степенью использования материала. Он является идеальным для массо-

вого производства микроструктурных компонентов с размерами < 1 мм (микроконтакты). Микроштамповка является простым вариантом штамповки, которая выполняется на машине, включающей привод и инструмент (рис. 6).

Микроэкструзия – высокопроизводительный процесс с большой степенью использования материала. Он, как и микроштамповка, является идеальным для массового производства микроструктурных компонентов размеров < 1 мм (микроконтакты) (рис. 7).

Машины с параллельной кинематикой. Из-за специфических особенностей параллельных механизмов и машин на их основе, исследования в данной области и дальше интенсивно продолжаются и развиваются на высоком уровне с кооперацией возможностей университетов, ис-

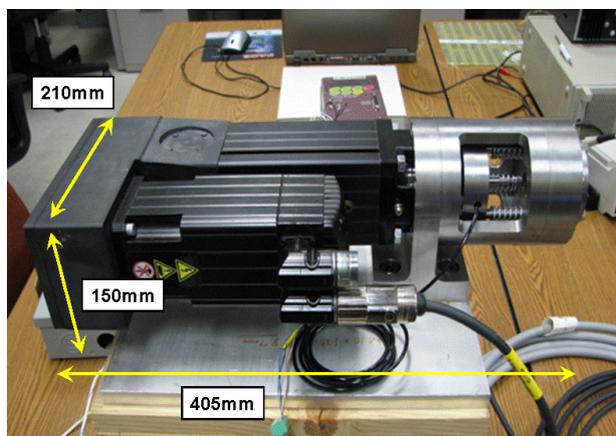


а



б

Рис. 6. Микропресс (а) и микроштамповка (б) (Nagoya Institute of Technology)



а



б

Рис. 7. Машина для микроэкструзии (а), типичные экструдированные компоненты (б)

следовательских институтов и промышленности. Эти исследования связаны с синтезом новых механизмов, моделированием, управлением, разработкой проектов, разработкой и использованием металлообрабатывающих станков и роботов. Исследования в Белградском университете начались в 1996 г. Это были первые работы в данной области в Сербии и согласно долгосрочной программе их целью было создание нового поколения отечественных металлообрабатывающих станков и роботов.

На рис. 8 показана первая версия прототипа, разработанного совместно с компанией ЛОЛА Систем АД Белград в 2004 г. Сотрудничество по этой программе продолжается до сих пор с ЛОЛА Институтом из Белграда.



Рис. 8. Версия промышленного прототипа «ЛОЛА pn101_4»

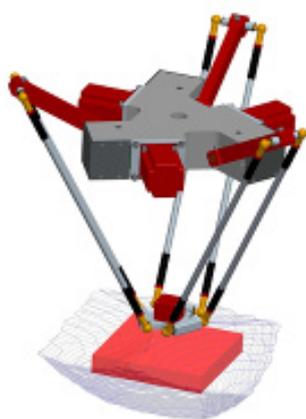


Рис. 9. ДЕЛЬТА-механизм с поворачивающимися шарнирами

Параллельный робот «ДЕЛЬТА» разработан на основе положения о том, что нет необходимости в использовании двигателя, мощностью несколько кВт для манипуляции частями машины массой несколько грамм. Оригинальная схема робота показан на рис. 9. Такая, на первый взгляд комплексная структура механизмов с большой частью сегментов, обеспечивает движущейся плите три степени свободы. Четвертая степень свободы, то есть ориентация, обеспечивается с помощью актуатора на неподвижной плите, момент которой переносится с помощью двух карданных шарниров и телескопического вала или с помощью актуатора на внутренней стороне платформы.

Реализация проекта по созданию ДЕЛЬТА-робота базируется на большом комплексе исследований сложных кинематических моделей, разработанных с учетом минимального количества параметров, что делает его более эффективным в отношении существующих подходов, не только в части управления, но и в части эффективных алгоритмов для калибровки и компенсации, совершенствование которых продолжается и с настоящее время.

Вывод. Благодаря актуальному тренду миниатюризации в настоящее время имеет место интенсивный спрос на энергетически эффективные миниатюрные компоненты. В данной работе представлены некоторые направления исследований развития новых методов обработки и микромашин для обработки широкой гаммы деталей из металлов, полимеров, керамики и пр. Обработывающие системы нового поколения – основа развития производственных технологий во всех отраслях промышленности. На Машиностроительном факультете Белградского университета проводятся исследования в области металлообрабатывающих станков и роботов нового поколения с параллельной кинематикой, создания обрабатывающих систем для многоосевой обработки, совершенствования и применения управляемых систем, испытания обрабатывающих систем в производственных условиях.

*El-Dahabi Farouk Wahid, PhD
Lebanese University, Tripoli, Lebanon*

DEVELOPMENT OF A NEW GENERATION OF MACHINE-TOOL EQUIPMENT FOR ACCURACY OF MACHINING

The creation of new developing technical systems, which include machine tools and robotic systems, require further improvement of their subsystems. One of these subsystems is machine tool equipment designed to manipulate, install and clamp objects of various shapes (blanks or parts, cutting tools or their elements). Currently, the search for new solutions is impossible without an interdisciplinary approach and the use of the latest scientific achievements in various fields, combined in the form of NBIKS technologies (nano-bio-info-cogno-socio) and using artificial intelligence.

The challenges of the fourth industrial revolution "INDUSTRY 4.0" are mainly focused on artificial intelligence, full automation with the use of robots, robotic systems, communications, the creation of a new generation of intelligent production while significantly reducing the time and cost of manufacturing products.

In this case, machine tool and tooling, is of great importance, expanding the technological capabilities of automated equipment and increasing its technical and economic indicators. In recent years, using the system-morphological approach, fundamentally new clamping mechanisms and devices have appeared: highprecision, self-adjusting, wide-range, fast-adjusting, high-speed and multifunctional. Their application allowed to solve the problems:

- saving metal by eliminating the secondary operation of trimming the face after cutting short parts (especially in the bearing industry);
- increase machining accuracy due to chucks with a fixed cylindrical collet and double clamping;
- switching to processing cheap non-calibrated rolled products – hot rolled bars and pipes instead of calibrated ones;
- reduction in the number of readjustments and time for readjustment.

The application of the genetic-morphological approach in was oriented towards the clamping of one axisymmetric rotating object with access to the radial and axial clamping principles, which limited the field of search for new solutions. Works and especially prof. Shinkarenko V.F. allowed us to expand our worldview on an interdisciplinary approach in science and technology, in particular, on the evolutionary and genetic synthesis of anthropogenic systems that develop over time.

The solution to the problem of simultaneous multi-place clamping of rotating objects with the application of a tangential force displaced from the axis of rotation determined the relevance of the present research.

All these studies are reduced to ensuring the accuracy of processing, since accuracy is one of the most important indicators of the quality of machines, significantly affecting all the criteria for the operability of their mechanisms, and, consequently, the output indicators of machines.

The development of technology is associated with a continuous increase in the requirements for the accuracy of machines, including tooling, including its preservation under load and in time. Improving the accuracy of machines increases their productivity due to the possibility of reducing the number of working passes, optimizing machining modes by creating a new generation of machine tool equipment, and reducing the complexity of the final operations.

In this way, the economic efficiency of improving the accuracy of machines is determined by two factors of national economic importance:

- improving the quality of machines, devices and other products manufactured on machine tools;
- increased machining performance.

Accuracy affects the operation of machines according to the following criteria:

- dynamic loading, vibration and noise;
- strength due to dynamic loads, the use of multi-contact designs, stress concentration;
- loss of friction, heating and wear, non-optimal gaps and surface condition;
- reliability associated with all performance criteria, their mutual influence, as well as initial accuracy margins;
- speed associated with dynamic loads and heating;
- material consumption due to limited speed and additional harmful loads.

The accuracy of parts and mechanisms should ensure the exact position and movement of the links.

The requirements for the roughness and accuracy of the surfaces of parts are established taking into account their functions.

Errors of machines and machine tools by their nature can be divided into:

- own, not related to external influences,
- manufacturing and assembly errors;
- systematic errors due to the principle of operation of machines or process;
- errors from external influences without irreversible changes in the system -elastic and temperature deformations;
- errors from irreversible changes in machine parameters - wear, aging, warping.

Most machines and parts fail not because of damage and general obsolescence, but because of a loss of accuracy due to wear, hugs, warping, resulting in a significant reduction in the main output devices of machines, especially tooling.

О.С. Бондарчук, студ.,

В.Д. Головня, к.пед.н.,

Державний університет «Житомирська Політехніка»

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СО₂-ЛАЗЕРНОГО РІЗАКА

Одним з найбільш значущих винаходів минулого століття можна вважати винахід лазера, який зараз використовується практично у всіх сферах життя. Слово LASER утворилося від скорочення англійського словосполучення «light amplification by stimulated emission of radiation» – «посилення світла за допомогою вимушеного випромінювання»

Ще в 1916 р. Альбертом Ейнштейном було спрогнозовано можливість переходу атомів з вищого енергетичного стану в нижчий під дією зовнішнього впливу. При цьому переході звільняється деяка кількість енергії, і таке випромінювання називається вимушеним. Вимушене випромінювання і лежить в основі роботи лазерів.

Принцип дії лазера ґрунтується на вимушеному випромінюванні фотонів світла під впливом

зовнішнього електромагнітного поля.

Ефект лазера (лазерна генерація) може виникнути тільки в тому випадку, коли число атомів у збудженому стані перевищує число атомів в стані спокою. Середовище з такими характеристиками, можна підготувати, накачавши його додатковою енергією з певного зовнішнього джерела. Ця операція так і називається – накачування. Саме від способу накачування і розрізняються лазери за типами. Накачування може здійснюватися при впливі електромагнітного випромінювання, електричного струму, електричного розряду, пучка релятивістських електронів, а також хімічної реакції. Вид використовуваної енергії залежить від того, яке саме застосовується активне (робоче) середовище.

Використання газу в лазері в якості активного середовища, має дуже важливу якість – це висока оптична однорідність, тобто промінь світла в газі розсіюється і спотворюється в найменшій мірі. Лазер на основі газу характеризується високою спрямованістю і монохроматичністю випромінювання, а також може працювати в безперервному режимі. Набагато підвищити потужність газового лазера можна при використанні різних методів збудження і збільшення тиску газу. Тому данні лазери найбільш часто використовуються там, де необхідна дуже висока спрямованість і монохроматичність променя. Найперший газовий лазер був створений в 1960 році на основі суміші гелію і неону, який до цього дня залишається найбільш поширеним. Після цього було створено (і ще створюються), безліч найрізноманітніших газових лазерів, де використовуються квантові переходи нейтральних іонів, атомів і молекул в різних діапазонах спектру світлового променя (від ультрафіолетового до інфрачервоного, і навіть рентгенівського випромінювання).

Лазерні різакі – чудові інструменти, що дають можливість створювати багато різних речей. Від простих ящиків до гравірування детальної графіки на дереві чи побудови складних тривимірних об'єктів.

Лазерний різак – це машина, керована комп'ютером, яка використовує лазерний промінь для точного вирізання або гравірування матеріалу. Лазерний промінь змушує матеріал локально горіти, плавитися або випаровуватися. Вид матеріалу, який лазер може вирізати, залежить від типу лазера та конкретної потужності машини.

Загалом CO₂ лазерні різакі складаються з: CO₂-лазерної трубки, високовольтного блоку живлення, чиллеру (для охолодження трубки), системи дзеркал (для перенаправлення лазерного променя), лазерної головки з лінзою, електронної системи контролю та керування. Робота лазерного різакі зводиться до того аби перенаправити та сфокусувати лазерний промінь в потрібному місці. Лазерне випромінювання виходить з трубки та потрапляє на дзеркало (рис. 1), встановлене під кутом 45° і повертає промінь на 90° в робочу зону. Наступне дзеркало закріплено на профілі осі X



Рис. 1. Тримач першого дзеркала

(рис. 2), переміщується разом з цією віссю, воно також повертає промінь на 90°.

На самій вісі встановлена каретка з спеціальною головкою в якій крім ще одного дзеркала, що повертає промінь з горизонтальної площини вертикально вниз, встановлена фокусна лінза (рис. 3), яка збирає лазерний пучок в точку. Таким чином відбувається переміщення лазерного випромінювання в площині XY (рис. 4).

Товщина яку може різати лазерний різак, безпосередньо залежить від потужності лазерної трубки. Лінза спочатку фокусує потужність лазерного променя вниз в єдину точку. Відстань між лінзою та точкою фокусування називається фокусною відстанню, чим далі від фокусу знаходиться матеріал, тим менша потужність променя буде досягати його, тому якщо ми намагаємося вирізати щось досить тонке скажімо, 6-міліметровий матеріал, тим більша потужність лазера буде зосереджена на цьому (рис. 5), для більш товстішого матеріалу потрібно використовувати більш потужніший лазер.



Рис. 2. Тримач другого дзеркала

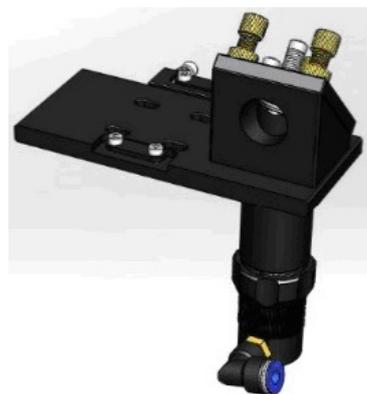


Рис. 3. Тримач третього дзеркала у зборі з лазерною головкою

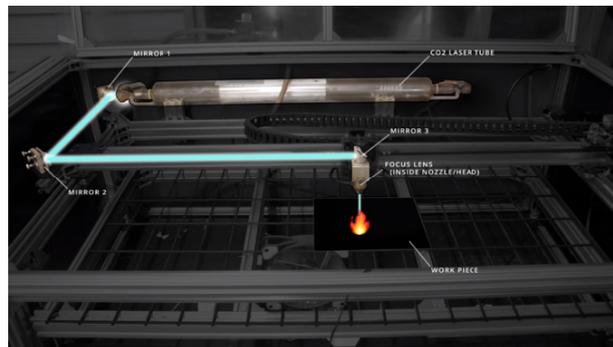


Рис. 4. Кінематика CO₂ лазерного різакі



Рис. 5. Фокус лазерного променя

Оскільки більш потужні лазери є досить вартісними, обмежимо масштаб проекту. Опиратимемось на те, що вартість має бути такою, щоб мати можливість використовувати його для хобі та малого бізнесу, а це означає, що будемо розглядати CO₂-лазери з діапазоном потужності між 40 і 120 Вт, звісно цього недостатньо для розрізання металу, але таким лазером можна обробляти такі матеріали як: дерево, фанера, шкіра, резина, папір, акрил (оргскло), пластмаси, а також гравіювати граніт, мрамур, кераміку, скло.

Виходячи з цього заводський лазерний різак буде мати досить малу робочу зону, що в деяких випадках може викликати неможливість обробки. Саме тому була розпочата розробка лазерного CO₂ різачка з робочим полем 900×1200 мм.

На даний момент спроектовано тримачі дзеркал, лазерну голівку, направляючі та корпусні елементи різачка. Також прорахована кінематика осей та приблизна вартість виготовлення. Всі розрахунки та проектування проводяться з урахуванням складності складання готового різачка, можливість вдосконалення та співвідношення ціна/якість. Так наприклад, переміщення по вісі Y проводиться на роликах, а переміщення по вісі X на рейсовій направляючій, оскільки на цій вісі встановлена голівка, яка у випадку гравіювання буде переміщуватись швидше відносно вісі X. Деякі елементи конструкції можна виготовити за допомогою адитивних технологій (3D-принтера).

На підставі вище сказаного можна зробити висновок, що власна розробка та складання CO₂ лазерного різачка є більш економічно доцільною у порівнянні з готовими рішеннями, що присутні на ринку.

Г.И. Гвоздь,

Н.Н. Попок, д.т.н., проф.,

Р.С. Хмельницкий, к.т.н.,

Полоцкий государственный университет

РАЗВИТИЕ МОБИЛЬНОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

С учетом анализа тенденций развития машиностроения изложена концепция мобильного производства и методика создания технологических модулей, рассмотрена модель комплексного вида обработки резанием и формирование мно-

гофункциональной технологической оснастки для ее реализации.

Определение технологических возможностей производства осуществляется на основе сравнения степеней сложности проектирования и из-

готовления базовых изделий (которые ранее серийно выпускались на действующем предприятии и определяли технологический базис предприятия) и нового изделия (которое принимается к освоению в производстве). С использованием критерия наибольшего применения (частоты встречи) типовых узлов и деталей изделий на этом этапе мобильной реорганизации производства выбирается изделие наиболее рациональное для технологического базиса данного предприятия.

Разработаны методики экспресс оценки степени сложности изделий и степени мобильности машиностроительного производства. Для станочных изделий показатель степени сложности Q рассчитывается по формуле:

$$Q = G_{cc} \cdot k_k \cdot k_m \cdot k_b \cdot k_s \cdot k_r, \quad (1)$$

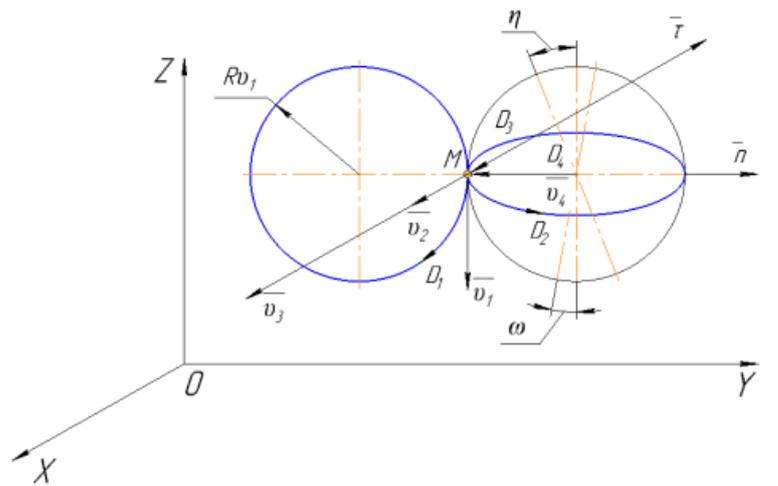
где G_{cc} – группа структурной сложности изделия; k_k – коэффициент концептуальной сложности изделия; k_m – коэффициент новизны решений; k_b – коэффициент изменения веса изделия; k_s – коэффициент изменения эксплуатационных характеристик изделия; k_r – коэффициент изменения габаритных размеров изделия.

Мобильность производства может быть определена как доля отклонения в степенях сложности нового и базового изделий или технологий, отнесенная к степени сложности базового изделия или технологии и рассчитана по формуле:

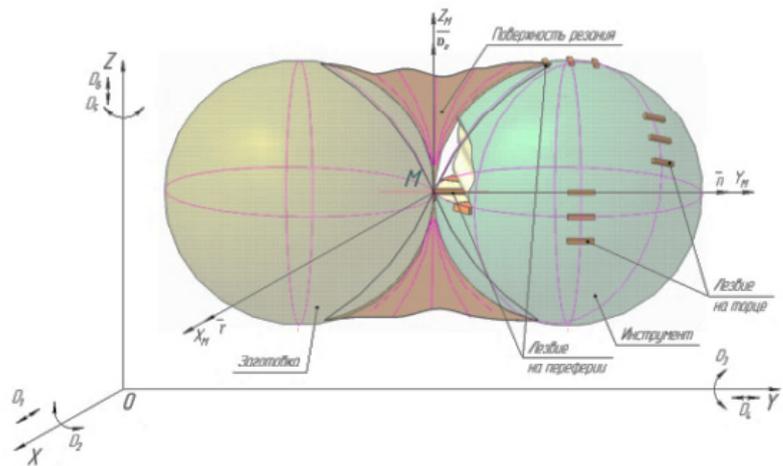
$$K_M = \frac{Q_6}{(\pm(Q_n - Q_6) + 1)}, \quad (2)$$

где K_M – коэффициент мобильности; Q_6 и Q_n – степени сложности соответственно новых и базовых изделий и технологий.

Максимально учесть многообразие признаков обработки резанием позволяет комплексный вид, реализующий сложный нестационарный процесс резания по многоэлементной кинематической схеме, например, точечфрезерование или фрезеточение многолезвийными вращающимися инструментами, которые могут служить в качестве модели



a



б

Рис. 1. Схема комплексной обработки резанием: а – кинематическая схема, б – схема обработки

(объекта исследований) разновидностей процесса резания и режущих инструментов (рис. 1, а, б).

Комплексность рассматриваемого вида обработки обеспечивается за счет того, что предлагаемая схема позволяет осуществлять физическое и математическое моделирование других разновидностей обработки резанием.

Для реализации комплексной обработки предлагаются сборные режущие инструменты, построенные по модульному принципу. В основе каждого типа модульного режущего инструмента находится унифицированный резцовый блок. Конструкция блока резцового является оригинальной, технологичной в изготовлении и надежной в работе (рис. 2).

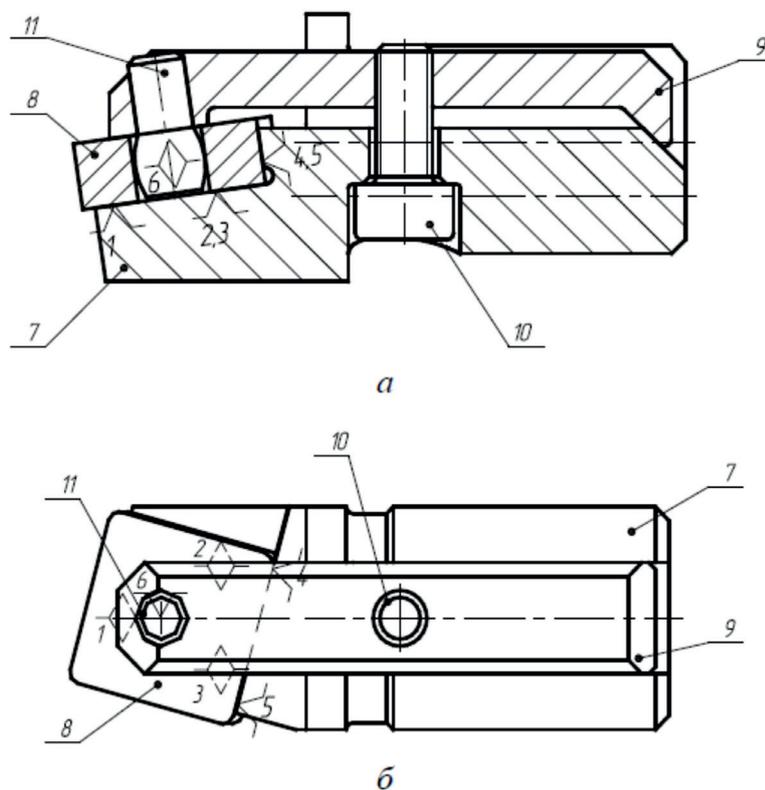


Рис. 2. Резцовый блок:
 а – главный вид; б – вид сверху;
 1, 2, 3 – установочная база, 4 и 5 – направляющая база, 6 – опорная база,
 7 – корпус режущего инструмента, 8 – сменная режущая пластина, 9 – прихват, 10 – винт,
 11 – штифт; \sphericalangle , \diamond – знаки базирования; 1...6 – степени свободы

Формирование блочно-модульного режущего инструмента осуществляется следующим образом. В соответствии с обрабатываемым конструктивным элементом и поверхностью детали выбирается пластина режущая, затем конструкция блока резцового с соответствующим механизмом зажима пластины режущей; резцовый блок вставляется в корпусной модуль и зажимается специальным механизмом.

В результате формируется набор технологической оснастки в виде резцов расточных, резьбо-

вых, проходных и т.д., фрез торцовых, дисковых, охватывающих и т.д., головок расточных, зубо-резных и т.д.

Посадочные поверхности конструктивных модулей согласовываются с установочными элементами станочного оборудования и приспособлений. Сочетание блочно-модульных режущих инструментов со танком, приспособлением и режимомрезания определяет технологический модуль мобильности производства.

*Л.П. Давидюк, студ.,
С.П. Вислоух, к.т.н., доц.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

ФОРМУВАННЯ ПРУЖНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕСІ ЇХ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ І КЕРУВАННЯ НИМ РЕЖИМАМИ РІЗАННЯ

Відомо, що основним інструментом формоутворення при механічній обробці є різання матеріалу заготовки. Процес різання неможливий без докладання значних сил з боку різального інструменту, а також появи температурних полів, які призводять до виникнення напружень і деформацій в поверхневому шарі деталі. Таким чином, технологічні процеси виготовлення деталей, особливо при обробці різанням, безпосередньо впливають на формування їх пружно-деформованого стану. У свою чергу нерівномірність розподілу залишкових напруг є однією з головних причин деформації високоточних деталей в процесі їх експлуатації.

Тому до процесу механічної обробки пред'являють високі вимоги, для забезпечення яких потрібно розв'язання широкого кола практичних задач, які можна поділити на дві великі групи. Першу групу становлять задачі вдосконалення технологічних процесів підвищення якості деталей, головним чином, шляхом формування високої якості поверхневого шару і оптимального рівня залишкових напруг, що істотно впливають на довговічність, витривалість, і інші характеристики надійності.

До другої групи належать питання підвищення точності і стабільності на всіх етапах виробництва, які можуть бути вирішені застосуванням ефективних методів управління стабільністю виробничих процесів і контролю якості виробів.

Найбільшу складність представляє вирішення питань першої групи, тому що на формування структури поверхневого шару надає певний вплив явище технологічної спадковості, яке проявляється у впливі маршруту обробки на формування фізико-механічних властивостей матеріалу деталі, а також похибок обробки. Тобто, на фор-

мування властивостей поверхневого шару впливають в тій чи іншій мірі всі операції лезвіної обробки технологічного процесу, їх режими, різальний інструмент, характер взаємодії різального інструменту і заготовки тощо.

Двома основними факторами, що впливають на утворення залишкових напружень при лезвіній обробці, є величина сил різання і температурні поля в зоні обробки. Отже, необхідно визначити набір параметрів, що впливають на величину сил різання і температуру, виявити які з них надають найбільше значення, а також якими з них є найбільш доцільним керувати для досягнення поставленої мети.

Для управління величиною залишкових деформацій необхідно добре знати характер взаємозв'язку технологічно забезпечувальних і контрольованих параметрів поверхні з умовами її обробки.

Встановлено, що найбільш істотними факторами, які впливають на величину залишкових напруг, є режими різання, наявність і вид мастильно – охолоджувальної рідини, а також деякі елементи геометрії ріжучої частини інструменту – передній кут γ , радіус при вершині r і радіус заокруглення різальної кромки ρ .

При деяких умовах істотними можуть виявитися і інші чинники: фізико-механічні і теплофізичні властивості заготовки, умови тепловіддачі (при обробці тонкостінних деталей) тощо. Крім того, нерівномірний розподіл напружень по поверхні деталі відбувається також внаслідок видалення різних за величиною шарів матеріалу (тобто через знімання нерівномірних припусків), яке практично завжди супроводжує механічну обробку високоточних деталей.

Також в тих місцях, де різальний інструмент знімає більший припуск, виникає більш інтенсивне теплове поле, що приводить до створення в даній зоні місцевих напружень. Останні, релаксуючи, викликають пружні переміщення – форма деталей порушується.

Використання в якості керуючих такі параметри, як геометрія ріжучого інструменту, використання мастильно – охолоджувальних рідин тощо, призводить до більш істотної зміни існуючого технологічного процесу, що є в більшості випадків небажаним. Крім того, так як більшість матеріалів деталей приладобудування є важко-оброблюваними, то це накладає певні вимоги до інструментальних матеріалів і геометрії різального інструменту, що також робить використання геометрії інструменту в якості керуючого параметра небажаним.

Багато з існуючих методик розрахунку сил різання мають ряд обмежень. Основними недоліками експериментальних методів є: частковий характер залежностей параметрів, використання лише невеликої кількості факторів, що впливають на сили різання, багато важливих факторів, такі як геометрія інструменту, фізико-механічний стан оброблюваного матеріалу враховуються тільки через поправочні коефіцієнти.

Отримані експериментальним шляхом статистичні формули мають обмежене застосування, тому що результати експериментів не можна переносити на інші процеси, що виходять за межі поставлених дослідів. Кожна експериментальна формула не може бути використана для режимів обробки матеріалів, що мають інші механічні, хімічні та теплофізичні властивості. Крім того, для визначення складових експериментальної формули для нового матеріалу потрібно постановка нової серії великої кількості дослідів, що є досить трудомістким і до того ж часом вимагає великих витрат на матеріал. Теоретичні методи через їх великі спільності дозволяють точно визначати взаємозалежний вплив факторів, що впливають на сили різання, але для реальних розрахунків, які використовуються на виробництві такі формули складні. Зокрема в формулах, що представляють теоретичний метод, в явному вигляді не присутня швидкість різання, через що складно отримати зв'язок керованого (сили) і керуючого (режими різання). Ця обставина негативно позначається на можливості використання цієї методики в виробничих умовах.

Аналіз наукової літератури дозволив встановити, що є доцільно управляти величиною залишко-

вих деформацій і напружень за допомогою режимів різання, тобто за допомогою зміни швидкості різання, подачі і глибини різання. Основною перевагою використання цих параметрів, крім того, що вони мають найбільший вплив на формування пружно-деформованого стану деталі, є простота їх зміни технологом, що дозволяє використовувати вже існуючий технологічний процес шляхом його мінімального коригування. Контроль параметрів пружно-деформованого стану деталі пропонується виконувати методами комп'ютерного моделювання.

В останні роки все більшу популярність для вирішення завдань теорії різання отримує метод кінцевих елементів. Головною перевагою якого є точність обчислень, наочність отриманих результатів і висока гнучкість у виконанні розрахунків. Метод скінченних елементів застосовується для різних завдань механіки деформованого твердого тіла, гідро - і газодинаміки, електромагнетизму тощо.

Однією з основних задач у нашій галузі є задача визначення пружно-деформованого стану конструкцій, деталі після її обробки та в процесі експлуатації при заданих умовах термомеханічного навантаження. Для розв'язання цих задач використовують програмні комплекси FEMAP і MSC / NASTRAN for Windows, що засновані на методі кінцевих елементів і призначені для розрахунку статичних напруг і деформацій, стійкості, визначення власних частот і форм коливань, аналізу теплових сталей і перехідних процесів, а також завдань статички і динаміки в нелінійній постановці для широкого класу машинобудівних і інших конструкцій. Програми поєднують в собі потужні аналітичні можливості процесора і легкість роботи з графічним призначенням для користувача інтерфейсом.

Найбільш загальна блок-схема алгоритму розв'язання задачі із застосуванням комп'ютерних технологій інженерного аналізу на основі методу скінченних елементів в системі FEMAP умовно представлена трьома великими блоками: пре-процесорний, аналітичний і пост-процесорний. Препроцесорний блок включає в себе підготовку вихідних даних, тобто генерацію повної скінчено - елементної моделі об'єкта проектування в пам'яті комп'ютера. Аналітичний, або процесорний блок – це безпосереднє рішення глобальної системи алгебраїчних рівнянь, отриманої після реалізації варіаційного підходу методу скінченних елементів для вирішення диференціального рівняння розглянутого фізично-

го процесу. Результатом цього рішення є визначення поля невідомої величини в вузлових точках скінчено-елементної моделі об'єкта. Щодо цієї величини визначаються інші – залежні величини.

За результатами комп'ютерного моделювання засобами системи FEMAP визначаються параметри пружного стану деталей. Якщо ці параметри не задовольняють умовам їх експлуатації, то виконується необхідне корегування режимів різання.

*Ю.О. Денисенко, к.т.н.,
В.О. Залога, д.т.н., проф.,
Сумський державний університет*

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ

Одним із найважливіших напрямів діяльності машинобудівного виробництва є його інструментальна підготовка (ІПВ), метою якої є забезпечення усіх (без виключення) процесів, що супроводжують виготовлення і реалізацію продукції необхідними інструментами та оснащенням. Тому вдосконалення нормативного забезпечення управління й оцінки якості ІПВ в умовах функціонування інформаційних технологій є актуальним науково-прикладним завданням, вирішення якого забезпечить підвищення ефективності виробництва, включаючи підвищення надійності, зниження витрат і скорочення часу на підготовку машинобудівного підприємства з питань інструментального забезпечення. В умовах сучасних ринкових відносин машинобудівному підприємству ефективно функціонування й конкурентні переваги може забезпечити тільки ефективна система управління його виробничою діяльністю на основі широкого використання сучасних інформаційних технологій, які є важливим джерелом підвищення ефективності рішень, що приймаються, продуктивності й конкурентоспроможності виробництва. Метою даної роботи є підвищення ефективності

системи інструментальної підготовки виробництва машинобудівних підприємств шляхом удосконалення її нормативного забезпечення на основі прогнозування її техніко-економічних показників (ТЕП) в умовах використання сучасних інформаційних технологій. Однією з основних задач дослідження є розробка механізмів й інструментаріїв створення моделі управління якістю ІПВ в умовах інформаційних технологій, що базуються на застосуванні методів прогнозування й оптимізації. Об'єктом дослідження є система управління якістю процесів інструментальної підготовки виробництва. Предметом дослідження є нормативне забезпечення управління якістю ІПВ в умовах впровадження інформаційних технологій. Теоретичні дослідження базуються на використанні принципів TQM при управлінні якістю інформаційної системи ІПВ (ІС ІПВ). Для вирішення наукових завдань були використані фундаментальні положення основ теорії управління якістю, теорії ухвалення рішень, кваліметрії та інші. В роботі розглядається модель інформаційної системи управління якістю ІПВ машинобудівного підприємства на основі аналізу прийнятих

у CALS-технологіях інструментаріїв на кожному етапі життєвого циклу відповідної продукції, яка дозволяє ідентифікувати інформаційні потоки з використанням сучасних інформаційних технологій.

У роботі визначено ті особливості ППВ машинобудівних підприємств, які є передумовою до розробки єдиних методів в прийнятті рішень щодо якості її процесів. У роботі представлено розроблену у дослідженні уніфіковану модель прийняття рішень в сфері якості процесів інформаційної системи (ІС) ППВ з безрозмірною шкалою оцінювання, що дозволяє оцінювати процеси за однією з двох умов, в залежності від техніко-економічних показників (ТЕП) процесів та витрат

на якість процесів ІС ППВ. З врахуванням вимог ІС ППВ запропоновано систему ТЕП за трьома ознаками оптимальності та розроблено класифікацію витрат на якість процесів ІС ППВ, що дозволяє суттєво підвищити ефективність її функціонування та науково обґрунтовано і розроблено алгоритм впровадження ІС ППВ на машинобудівному підприємстві. Показано, що запропоноване у роботі нормативно-методичне забезпечення дозволяє на кожному машинобудівному підприємстві розробляти систему управління якістю ІС ППВ із урахуванням специфіки підприємства, сукупності технологічних процесів, характеру технологічного оснащення, що випускається, та інших виробничих особливостей.



Рис. 1. Концептуальна модель системи управління ППВ в умовах застосування інформаційних технологій

Ю.О. Денисенко, к.т.н.,
В.О. Залога, д.т.н., проф.,
І.Е. Іваненко, студ.,
Сумський державний університет

СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ВІДМОВ ІНСТРУМЕНТУ

Підвищення ефективності процесів механічної обробки деталей, є актуальним питанням для вітчизняних машинобудівних виробництв. Важливу роль у забезпеченні високої ефективності механічної обробки деталей (надійне забезпечення вимог креслень виробів, висока продуктивність, мала собівартість тощо) відіграють процеси впровадження методів раціонального використання надійного різального інструменту.

Питання працездатності різального інструменту при механічній обробці широко розглянуті, зокрема у роботах Верещаки А.С., Мироненка Є.В., Калініченка В.В., Гузенка Д.Є. Одним із факторів, що спричиняють негативний вплив на працездатність різців, продуктивність та енергоефективність обробки при чорновому точінні автори [1–3] зазначають значні втрати часу на заміну різального інструменту/пластини, що зумовлені невисокою стійкістю та відносно високим відсотком раптових відмов різців і відтак спричиняють значні втрати електроенергії при роботі електродвигуна привода головного руху верстата на холостому ході. В той же час широке впровадження стандарту ДСТУ EN ISO 9001:2018 вимагає, у тому числі, й впровадження системи оцінювання ризиків на підприємстві. Під оцінкою ризиків мається на увазі виявлення виникаючих в процесі оброблення можливих небезпек, а також визначення величини і значущості цих ризиків. Треба мати на увазі, що оцінювання ризиків є одним з найбільш ефективних превентивних заходів, тому що при оцінюванні ризиків враховуються не тільки несприятливих наслідків, пов'язаних, наприклад, з відмовами інструментів, що сталися раніше, але і ті можливі відмови, які поки що не викликали, тобто прогнозні. Відомо, що руйнуванню можуть підлягати (в залежності від конструкції інструменту та процесу оброблення) наступні елементи інструменту: ріжучий клин по перетину (сколювання) або

його відносно невеликі ділянки (викришування різальної кромки), різальна пластинка, зуб або вся робоча частина цілісного інструменту, калібруюча або напрямна частини; паяні з'єднання або елементи механічного кріплення пластинки; державка або корпус біля задньої поверхні під пластинкою (деформація опорної зони); деформація державки різця, наприклад, при розточуванні й інших. В ході роботи були виявлені найбільш поширені види відмов на прикладі твердосплавних різців з причини руйнування: різальної частини-сколювання та викришування, у т.ч. і за рахунок утворення термічних тріщин; локальної пластичної деформації різальної кромки як в сторону задньої, так і в сторону передньої поверхонь тощо. Оцінювання ризиків, пов'язаних з цими відмовами, пропонується проводити в два етапи. Перший етап – базове (первинне) оцінювання ризику проводиться на основі баз даних процесів обробки, а також даних про враховані відмови. Другий етап – уточнене оцінювання ризику проводиться тільки на тій операції, що розглядається, з врахуванням оброблюваного і інструментального матеріалів, геометричних параметрів інструменту та режимів різання. Розрахунок величини ризику, на відміну від існуючого методу, запропоновано проводити з врахуванням ймовірності виникнення подій за формулою:

$$P = B \cdot P \cdot Vp,$$

де B – важливість потенційної небезпеки; P – схильність небезпеки; Vp – ймовірність небезпеки.

Такий підхід дозволяє, не чекаючи інцидентів, виявляти (ідентифікувати) можливі небезпеки відмов інструменту, оцінювати ризики проявлення цих небезпек, вести їх розрахунок, і, нарешті, на основі оцінювання приймати оперативні рішення та розробляти плани щодо зниження або усунення ризиків, що може бути використано для: технологічної підготовки виробництва.

*О.О. Клочко, д.т.н., проф.1,
О.А. Охріменко, д.т.н., доц.2,
В.О. Поліщук, студ.2,*

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»1,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»2*

АРОЧНІ ЗУБЧАСТІ КОЛЕСА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЇХ ПОБУДОВИ В САД СИСТЕМАХ

Використання аrochenних зубчастих коліс замість прямозубих, косозубих чи шевронних коліс є ефективним способом, що забезпечує підвищення навантаження, працездатності, плавності роботи та зменшення рівня шуму зубчастих передач. Про те на даний час є ряд невирішених проблем в області, як з проектування, синтезу аrochenного зачеплення так і технології їх виготовлення. Для розширення області застосування таких передач необхідно було автоматизувати проектний розрахунок таких передач із застосуванням сучасних можливостей САД програмного забезпечення з побудовою трьох вимірної моделі, що значно могло би розширити область застосування таких передач. Відомі роботи де описується така задача, проте вона не автоматизована і потрібно проводити підготовку до побудови трьох вимірної моделі в ручному(діалоговому) режимі, тому для зменшення часу на підготовку було розроблено програмне забезпечення, що автоматично розраховує координати точок повного профілю поверхні і записує його певним чином у файл, який використовується найбільш розповсюдженими системами САД типу SolidWorks, NX Siemens, Catia, Компас 3D та інші, і за командою «побудова поверхні по точкам» автоматично будується поверхня повного профілю западини такого колеса.

Для вирішення цієї задачі було розглянуто спосіб формоутворення таких зубчастих коліс, як круглою різцевою головкою так і інструментом який реалізує траєкторію різців при якій вони завжди паралельні торцевій площині колеса. Розрахункова схема формоутворення покла-

дена в основу показана на рис.1, а, і ґрунтується на схемі кочення без ковзання початкової площини пов'язаної з різцевою головкою, система координат $S_1(X_p, Y_p, Z_p)$ по початковому циліндру пов'язаному з зубчастим колесом, система координат $S_2(X_p, Y_p, Z_p)$, результат повного розрахунку профілю показано на рис. 1, б.

Для такої схеми формоутворення рівняння контакту буде наступне:

$$t_p = \frac{-Y_1 \cdot N_{X1} - X_1 \cdot N_{Z1}}{R_o \cdot N_{T1}}, \quad (1)$$

де t_p – кут повороту колеса при якому відбувається контакт точки поверхні різцевої головки з координатами X_p, Y_p, Z_p з поверхнею колеса, N_{X1}, N_{Y1}, N_{Z1} – проекція вектора нормалі до поверхні різцевої головки.

При використанні розробленого програмного забезпечення було розроблено варіант заміни стандартного прямозубого зачеплення шестерінчастих насосів на зачеплення з аrochenними зубами (рис. 2). Можливі переваги використання зубчастого зачеплення з аrochenною формою лінії зуба в шестеренних гідронасосах такі: за рахунок плавного входу в зачеплення зубів при перекритті нагнітаючої порожнини і плавного виходу із зачеплення при відкритті защемленого міжзубного об'єму рідини зменшуються явище кавітації, що покращує експлуатаційні характеристики насосу та зменшує шум в процесі роботи, на відміну від косозубих коліс – врівноваження осьових зусиль в передачі та більш плавна робота, не потребує змін інших конструктивних елементів насоса.

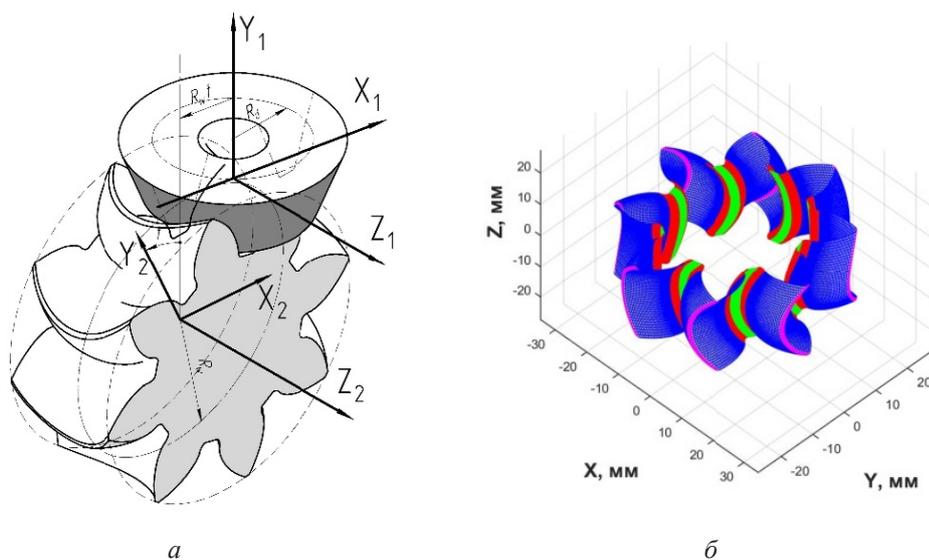


Рис. 1. Результат повного розрахунку профілю:

а – схема формоутворення арочних коліс, б – результат розрахунку поверхні арочного колеса, де R_d – ділительний радіус різцевої головки, R_w – радіус обкату, t – кут повороту колеса навколо своєї осі при обкаті

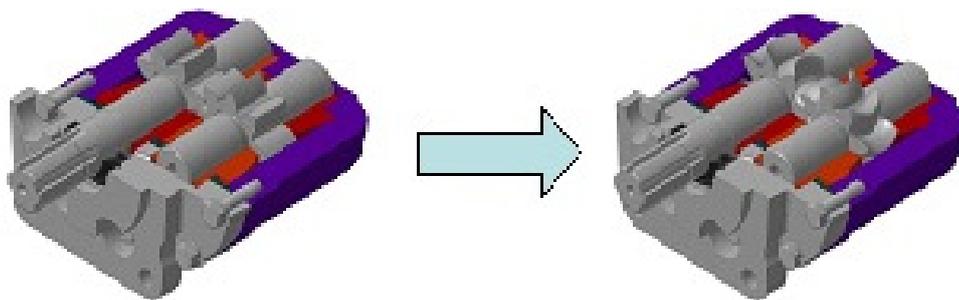


Рис. 2. Заміна прямозубого зачеплення в шестерінчастих насосах на арочне

Для прикладу, для заміни зачеплення насоса НШ10 було розраховано та виготовлено експериментальну пару зубчастих коліс з арочною формою зуба з наступними параметрами: $m = 3$, $z = 10$, $x = +0,355$ (рис. 3).



Рис. 3. Експериментальна пара зубчастих коліс з арочною формою зуба

Для виготовлення поверхні таких зубчастих коліс використовувався верстат з ЧПК, що є не продуктивно у порівнянні з виготовленням звичайних прямозубих зубчастих коліс і тому питання технології виготовлення таких коліс потребує подальших досліджень у цьому напрямку одним із перспективних варіантів, є процес накатки таких коліс методами пластичної деформації, що

потребує розрахунку спеціального профілю накатника який буде спряжений з профілем арочного колеса. Також використовуючи у дослідженнях розроблене програмне забезпечення, це дозволяє розширити область застосування зубчастих коліс з арочним зубом, що є перспективно для покращення експлуатаційних характеристик машин і механізмів.

*В.Я. Лебедев, к.т.н., с.н.с.,
Физико-технический институт НАН Беларуси*

ПРОГРЕССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ РОТАЦИОННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

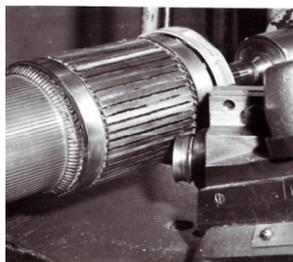
Проблемы обеспечения точности геометрической формы и качества поверхностного слоя крупногабаритных деталей являются актуальными для многих отраслей промышленности, и особенно для тяжелого машиностроения, обеспечивающего технику горнорудный и металлургический комплексы, транспортную и бумагоделательную отрасли. Решаться они должны комплексно путем создания надежного и точного оборудования и разработки высокопроизводительного инструмента с высокой технологической стойкостью. Одним из перспективных видов режущего инструмента для таких условий обработки являются ротационные резцы.

Особенности кинематики, высокие динамические и термические нагрузки, возникающие при обработке крупногабаритных деталей, предъявляют высокие требования к инструменту, его технологической надежности и долговечности. Важное значение имеют технологические возможности инструмента в реализуемом диапазоне режимов обработки, так как ввиду особенностей конструктивной схемы ротационные инструменты чаще применяются для обработки «напроход», а при точении и фрезеровании необходимо иметь зону выхода инструмента размером более диаметра лезвия. В Физико-техническом институте НАН Беларуси развитие исследований в области ротационного резания началось в 60-х годах прошлого века и наиболее активно развивалась в 80–0-х годах. Разработано ряд конструкций ротационных инструментов для операций точения и фре-

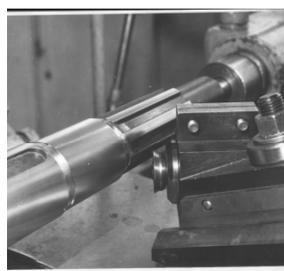
зерования, развитие продолжается и в настоящее время в интересах ряда отраслей. Примеры реализации ротационного инструмента приведены на рис. 1.

Наибольшее распространение получили конструктивные схемы резцов с неподвижным корпусом и вращающимся шпинделем с закрепленной режущей чашкой. Высокими скоростными и динамическими характеристиками обладает ротационный резец, шпиндель которого монтируется на спаренных радиально-упорных подшипниках, установленных тандемом по схеме «X». Наружные кольца подшипников замыкаются на распорную втулку, жестко зафиксированную относительно корпуса. В опорах создают предварительный натяг путем затяжки гайкой внутренних колец подшипников. Более технологичен вариант установки между внутренними кольцами подшипников втулки, обеспечивающей заданный натяг в опорах при затяжке гаек до упора.

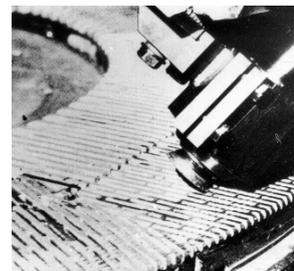
Широкие технологические возможности имеет ротационный резец (а.с. СССР № 1054999) с возможностью регулировки соотношения жесткости передней и задней опоры. Скоростные характеристики при высокой жесткости обеспечивают резание при скоростях до 16 м/с.



а



б



в

Рис. 1. Ротационные резцы ФТИ на токарных операциях

Для работы с повышенной глубиной резания разработан резец, шпиндель которого смонтирован на паре радиальных подшипников, установленных в корпусе и паре упорных, замкнутых на торцы распорной втулки. В передней радиальной опоре посредством пружины, а в упорных подшипниках посредством затяжки гайки создается предварительный натяг. Полость с подшипниками закрывается крышкой. На консоли шпинделя закрепляется режущая чашка. Разработанный резец позволяет снимать припуск до 1,5–2 мм на скорости до 7,5 м/с при обработке гарнитуры конических мельниц МКН-03 Ø525 мм из стали 65Г твердостью HB285.

В электротехнике точение ротационными резцами внедрено на операциях обработки бочки роторов и расточки статоров асинхронных и с коротко-замкнутым ротором электродвигателей. Обработка ротационным резцом ведется на токарно-винторезных станках, оснащенных державками, позволяющими реализовать вторую одно- или двухповоротную схему ротационного резания. По критериям безвибрационной работы и параметру шероховатости обработанной поверхности $Ra < 2,5$ мкм определены рациональные режимы обработки: $V = 7-7,5$ м/с; $S = 0,21$ мм/об при глубине резания 0,2–0,35 мм. Инструмент с диаметром режущей чашки 46 мм из твердого сплава ВК6 или ВК8 имеет углы заточки $\alpha = 18^\circ$, $\gamma = 30^\circ$. Штучное время на операции сокращается в 5–8 раз. Для точения магнитопроводов асинхронных электродвигателей из высококремнистых электротехнических сталей разработаны резцы, работающие на полуавтоматах DXR по первой схеме. Шпиндель собирается на роликовых радиальных подшипниках без внутреннего кольца, что обеспечивает высокую радиальную жесткость и обеспечивает обработку с глубиной резания до 1,5–2 мм. Заточка режущей части выполняется алмазными кругами на собранном инструменте. Заточка по передней поверхности (по

вогнутой сфере в торце чашки) выполняется кругом формы 1FF1 (рис. 1, а).

Результаты выполненных исследований использованы в технологии ротационной обработки каландровых валов. Высокая размерная стойкость ротационных резцов обеспечивает эффективное технологическое решение при изготовлении и ремонте валов суперкаландров диаметром 400–800 мм при длине до 8600 мм. Ротационным точением достигаются параметры некруглости и нецилиндричности обработанного вала не более 10 мкм. Достижимая шероховатость поверхности и подкатка задней поверхностью резца обработанной поверхности вала позволяют снизить в 2–4 раза время «прикатки» вала на машине. На рис. 2, в показан ротационный резец на операции обточки вала суперкаландра на высокоточном круглошлифовальном станке, оборудованном специальным резцедержателем.

В разработанных конструкциях ротационных резцов применяется в основном пресовая посадка режущей чашки на шпиндель. Заточка выполняется в собранном виде. Обычно допускается 10–15 переточек на чашках диаметром 46 мм. Для получистовых операций разработана конструкция резца со сменной чашкой на коническом хвостовике. Материал режущей чашки выбирается по аналогии с призматическими резцами.

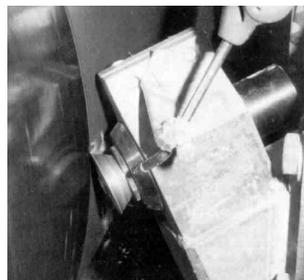
При заточке должен быть обеспечен параметр шероховатости $Ra < 1$ мкм по передней и задней поверхностям лезвия, радиальное биение режущей кромке до 5 мкм, на чистовых операциях – до 3 мкм. Опыт разработок показал преимущество применения подшипников качения в шпиндельных узлах ротационного инструмента. В большинстве случаев достаточный уровень обеспечивают подшипники 6 или 5 классов точности с применением пластичной смазки. Нарботка на отказ шпиндельных узлов превышает 1000 час. При обработке крупногабаритных деталей зачас-



а



б



в

Рис. 2. Ротационные резцы для точения: а – на полуавтомате DXR для обточки роторов, б – с регулируемой жесткостью опор, в – для обточки каландров

тую требуется применение СОТС. При ротационном резании подача СОТС осуществляется поливом в зону контакта или подачей через полый шпиндель. Достаточно эффективно при обработке неметаллических материалов обдув воздухом.

ЭЛЕКТРАПНЕЎМАТЫЧНЫЯ СІСТЭМА БЯСПЕКІ ДОЎГАБАЗНЫХ ТРАНСПАРТНЫХ СРОДКАЎ ДЛЯ ПАСАЖЫРАЎ З АБМЕЖАВАНЫМІ МАГЧЫМАСЦЯМІ

Паўловіч А. Э.

Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта інфарматыкі і радыёэлектронікі, к.т.н.

У апошні час назіраецца тэндэнцыя стварэння і прымянення транспартных сродкаў падоўжанай базы: аўтобусаў [1] (мал.1), тралейбусаў [2] і трамваяў [3].

Што датычыцца прымянення нізкападлогавых канструкцый гэтых транспартных сродкаў, то яны зручныя для адначасовай камфартабельнай паездкі вялікай колькасці пасажыраў з абмежаванымі магчымасцямі на далёкія адлегласці. Напрыклад, пасажырскія салоны доўгабазага аўтобуса «МАЗ» [1] (мал. 1) магчыма абсталяваць радамі спецыяльных крэслаў, прызначаных для пасажыраў з абмежаванымі магчымасцямі, а таксама біяпрыбіральнай, камодай, пераносным пандусам, месцамі размяшчэння суправаджаюць, відэаманіторамі, раскладаючымі прыстасаваннямі для зручнасці ўезду інвалідных калясак, за якімі можна размясціць прыстасаванні іх падлогавага мацавання.

Дзякуючы гэтаму становіцца магчымым арганізацыя экскурсійных тураў і наведвання

культурна-масавых мерапрыемстваў для ўсіх груп пасажыраў з абмежаванымі здольнасцямі, у тым ліку для дзяцей.

Для забеспячэння надзейнай бяспекі і камфартабельнасці паездак на транспартных сродках падоўжанай базы распрацавана электрапнеўматычныя сістэма. Яна ўключае ў сябе падсістэму кіравання шматкантурным тармажным прывадам, падсістэму кіравання дзвярамі, падсістэму кіравання становішчам падлогі, а таксама падсістэмы пажарнай бяспекі, відэаназірання, раскладвання прыстасаванняў для ўезду інвалідных калясак і іх мацавання на падлозе.

Падсістэма кіравання шматкантурным тармажным прывадам заснавана на запатэнтаванай карыснай мадэлі [4], у якой двухсекцыйны задатчлік 1 (мал. 2) інтэнсіўнасці тармажэння, злучаны з тармажнымі камерамі 2 пярэдняй колавай пары і забяспечаны двума рэлейнымі датчыкамі 3,4 ціску.

Перепускны клапан 5 і сачыльны элемент 6 двухсекцыйнага задатчыка 1 абсталяваны націскнымі замыкальнікамі 7 электракантакта ў рэлейных датчыкаў 3,4, якія электрычна злучаны з двухпазіцыйнымі электрапнеўмаклапанамі 8,9, якія кіруюць працай паскаральніка 10, які паведамлены з тармажнымі камерамі 11 самой далёкай колавай пары. Дадзеная мадэрнізацыя тармажнага прывада накіравана на

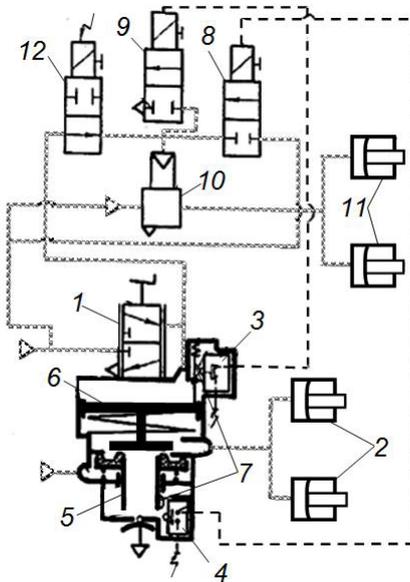


Мал. 1. Доўгабазны аўтобус «МАЗ»

павышэнне хуткадзейнасці спрацоўвання тармазоў доўгабазнага транспартнага сродку з палепшаным сачыльным дзеяннем і забеспячэннем іх працаздольнасці пры адсутнасці электрасілкавання за кошт аўтаматычнага адкрыцця электрапнеўмаклапана 12.

Падсістэма кіравання дзвярамі [5] (мал. 3) аўтаматычна выяўляе перашкоды іх перамяшчэнню.

Калі падчас адкрыцця дзвярэй адбылася іх блакіроўка, напрыклад заціснула інвалідную каляску, торух штока 2 першага пнеўмацыліндра 1 спыняецца, а шток 8 другога пнеўмацыліндра 7 працягне рух. Таму уключальнік 11 замкне



Мал. 2. Прынцыповая схема кіравання шматконтурным тармазным прывадам доўгабазнага транспартнага сродку [4]

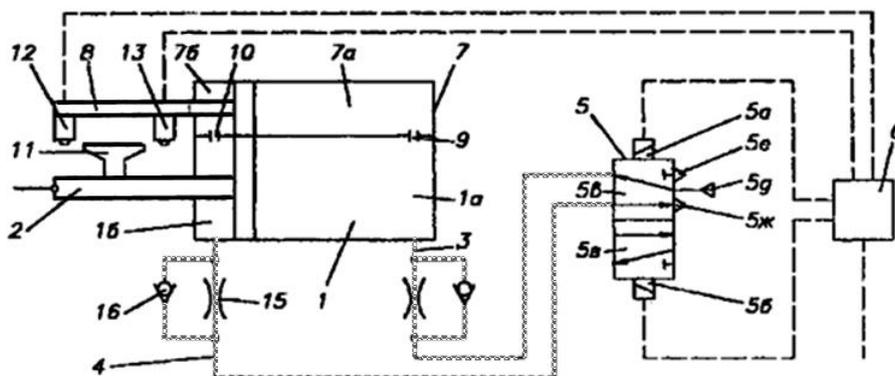
датчык 13, які пры гэтым выдаць сігнал блоку кіравання 6 на пераключэнне размеркавальніка 5 у пазіцыю 5в.

У выніку сціснутае паветра пачне выдаляцца з паражнін 1а і 7а праз дросель 15 магістралі 4 і паступаць у паражніны 1б і 7б праз зваротны клапан 16 магістралі 3. Гэта выкліча перасоўванне штоков 2 і 8 направа да поўнага закрыцця дзвярэй. Пасля гэтага кіроўца можа зноў адкрыць дзверы, уздзейнічаючы на іх з дапамогай сігналу, праз блок кіравання 6.

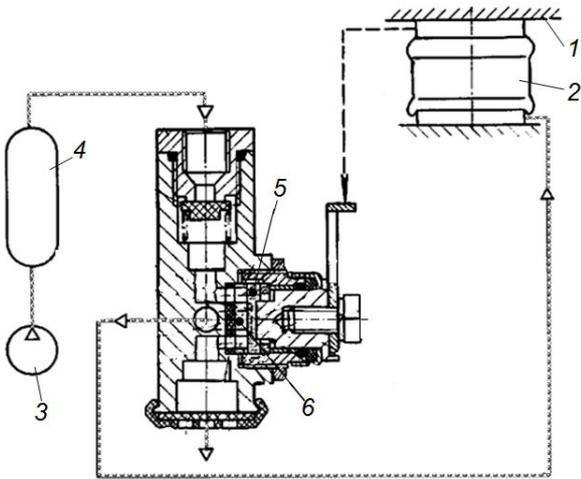
Калі ж, пры закрыцці дзвярэй імі будзе заціснуты, напрыклад, багаж, то шток 2 спыніцца, а шток 8 працягне рух, і уключальнік 11 замкне датчык 12. Далей рушыць услед сігнал блоку кіравання 6 на пераключэнне размеркавальніка 5 у пазіцыю 5г. У выніку сціснутае паветра выдаляецца з паражнін 1а і 7а і паступае ў паражніны 1б і 7б. Гэта выкліча перасоўванне штоков 2 і 8 направа да поўнага адкрыцця дзвярэй, вызваліўшы перашкоду. Для аднаўлення закрыцця дзвярэй кіроўца зноў падасць сігнал на блок кіравання 6.

Падсістэма кіравання [6] становішчам падлогі 1 (мал. 4) доўгабазнага транспартнага сродку ў залежнасці ад яго загрузкі змяшчае рэгулятар ціску сціснутага паветра, які падаецца ў падушкі 2 пнеўматычнай падвескі ад кампрэсара 3 праз рэсівер 4.

У такім рэгулятары замест традыцыйнага гумаметалічнага затамкавага механізму прыменена прэцызійнае пара дыскаў 5,6, выкананых з трывалага і зносаўстойлівага матэрыялу, напрыклад, з металакерамікі. Гэта дазволіць палепшыць сачыльнае дзеянне падсістэмы ў цэлым і павысіць надзейнасць яе рэгулятара, што станоўча уплывае на камфартабельнасць і бяспеку паездкаў.



Мал. 3. Прынцыповая схема кіравання дзвярамі ў доўгабазным транспартным сродку [5]



Мал. 4. Принциповая схема кіравання становішчам падлогі [6] для доўгабазнага транспартнага сродку

Крыніцы інфармацыі:

1. 10 самых доўгіх аўтобусаў усвеце [Электронны рэсурс]. – Рэжым доступу: <https://novate.ru/blogs/130916/37982/>.
2. Самы доўгі аўтаномны тралейбус [Электронны рэсурс]. – Рэжым доступу: https://pikabu.ru/story/samyiy_dlinnyiy_avtonomnyiy_trolleybus_6689.
3. Самы доўгі аўтаномны трамвай [Электронны рэсурс]. – Рэжым доступу: <https://subbotazh.livejournal.com/35113.html>.
4. Прылада для электравання шматкантурным тармазным прывадам транспартнага сродку / А.Э. Паўлавіч, С.В. Гіль. – Патэнт ВУ 1 U, МПК В60Т 13/68, 1999.03.30.
5. Прылада кіравання дзвярамі транспартнага сродку / А.Э. Паўлавіч, А.А. Успенскі. – Патэнт ВУ 479 U, МПК В60J 5/00, 2002.03.30.
6. Рэгулятар пнеўматычнай падвескі транспартнага сродку / А.Э. Паўлавіч, А.О. Рудовіч, Г.П. Чарвяк. – Патэнт ВУ 3474 С1, МПК В60G 17/00, 2000.09.30.



День пожилого человека принято отмечать повсеместно в первый день второго осеннего месяца – 1 октября. В 2019 году мир будет праздновать 29-й День пожилого человека по счёту.

День пожилого человека – это добрый и светлый праздник, в который мы окружаем особым вниманием наших родителей, бабушек и дедушек. Этот праздник очень важен сегодня, т.к. он позволяет привлечь внимание к многочисленным проблемам пожилых людей, существующим в современном обществе.

Международный день пожилых людей возник в XX веке. Генеральная Ассамблея ООН в декабре 1990 года постановила считать Международным днем пожилых людей 1-ое октября. Сначала этот праздник начали отмечать в Европе, затем в Америке, а в конце 90-х годов и во всем мире. День пожилых людей отмечается с большим размахом в скандинавских странах. Традиционно отмечается он в России, Азербайджане, Латвии, Молдове, Украине. В Беларуси День пожилых людей отмечается с 1992 года.

Как правило, пожилыми называют людей, которые достигли пенсионного возраста. В Беларуси этот возраст наступает для женщин в 58 лет, для мужчин в 63 года. По мнению Всемирной организации здравоохранения к «пожилым» относятся люди в возрасте 60-80 лет.

ДОСУГ

На Международный день пожилых людей (1.10.2019) самоорганизованная группа энтузиастов – инженеры различных специальностей (механики, технологи, строители, проектировщики, экономисты), получавшие знания в ВУЗах СССР, разыграли «Кубок пенсионера» по настольному теннису. Его завоевал в упорной борьбе выпускник ЛГУ Шаргородский Александр Александрович (на снимке во втором ряду второй слева с ракеткой).

Настольный теннис — очень популярная игра во всем мире. Она приносит радость движения и здоровье, так как вызывает положительные изменения в организме человека. В отличие от циклических движений — ходьбы, бега и т. п., игра в настольный теннис состоит из целого ряда различных движений. В игре приходится выполнять подачи, разнообразные удары по мячу и передвижения, зачастую требующие проявления ловкости.

Это дает весьма ощутимый оздоровительный эффект, который усиливается за счет значительного аэробного обеспечения. Физические кондиции у человека, регулярно занимающегося настольным теннисом растут. Заметно развивается выносливость, сила, быстроты, ловкость и гибкость. Это положительно влияет на центральную нервную систему, которая начинает более четко координировать работу наших физиологических систем. И тем самым улучшается самочувствие, растет работоспособность.

Обладая притягательностью игр вообще, настольный теннис имеет то преимущество, что укрепляет мышцы, корректирует зрение, стабилизирует кровяное давление, нормализует деятельность кровообращения и других жизненно важных систем человеческого организма. Игра в настольный теннис по праву может называться универсальным средством, снижающим усталость, напряжение. Рекомендуется игра даже людям, страдающим нарушением дыхания, с повреждениями опорно-двигательного аппарата. Слежение за полетом мяча – прекрасная гимнастика для глаз. Комиссия ЮНЕСКО назвала настольный теннис в числе наиболее перспективных видов спорта, широко доступных и служащих на благо здоровья людей.

Итак, настольный теннис – это развлечение, в высшей степени полезное для здоровья. Еще огромный плюс – это **непроизвольное вовлечение в игру** без необходимости волевого самопринуждения. Это лучший способ тренироваться и одновременно отдыхать, а также еще и интересно общаться. Например, как это сделали недавно инженеры-механики на «Кубке пенсионера».