

**Ключевые слова:**

станки объектного базирования, ЧПУ, многофункциональные роботы, крупногабаритные изделия в сборе, локализация комплектующих

# КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СТАНКОВ И РОБОТОВ С ЧПУ ОБЪЕКТНОГО БАЗИРОВАНИЯ

**Евгений НЕГИНСКИЙ, Владислав БОРОВСКИЙ,  
Павел КОСТЮКОВСКИЙ, Марина МАККОВЕЕВА, Олеся ОТТ**

Предложена концепция разработки и изготовления отечественных специальных станков объектного базирования по техническим заданиям конкретных заказчиков. Такой импортозамещающий подход даст возможность гибкого и оперативного обеспечения комплектующими, специальными опциями и расходными материалами, гарантийного, постгарантийного ремонта и обслуживания при одновременном снижении стоимости выполнения работ. Данная концепция находится в русле идеологии «Индустрии 4.0».

Основным резервом повышения производительности труда в промышленности и особенно в ее стратегических отраслях является сокращение доли ручных операций и максимальная автоматизация механической обработки. Эта задача на большинстве предприятий решается путем широкого внедрения станков с ЧПУ и обрабатывающих центров. Однако, в таких отраслях, как тяжелое машиностроение, судостроение, атомная и гидроэнергетика, имеются переделы, которые на протяжении десятилетий остаются не в полной мере охваченными техническим прогрессом, характерны высокой долей ручного труда и низкой степенью автоматизации.

Речь идет об изготовлении и ремонте крупногабаритных изделий в сборе с применением ручного механизированного инструмента или упрощенных станков объектного базирования (СОБ), иначе называемых мобильными или транспортабельными, то есть устанавливаемых непосредственно на обрабатываемые изделия. В связи со сложностью и дороговизной транспортировки крупногабаритных изделий при изготовлении или для ремонта в заводские цеха возникла необходимость в создании переносного оборудования, способного производить обработку непосредственно на изделия. В результате,

в свое время родилась идея создания мобильного оборудования, реализация которой позволила значительно снизить затраты. Однако качество и производительность обработки с применением упрощенных СОБ не выдерживает никакой критики. Например, обработка судовых фундаментов, ремонт крупногабаритной арматуры и т.п.

Наиболее эффективной является не закупка мобильных станков зарубежного производства (главным образом, в США), а разработка и изготовление специальных СОБ по техническим заданиям (ТЗ) конкретных потребителей, обеспечивающих максимальные потребности заказчиков. Западные компании поставляют только готовые решения по одной базовой комплектации с опциями, а если требуются специальные исполнения, то это приводит к большим срокам изготовления при существенно более высоких ценах.

Прямое взаимодействие с отечественными производителями СОБ даст предприятиям-заказчикам возможность гибкого и оперативного обеспечения комплектующими, специальными опциями и расходными материалами, а также гарантийного и постгарантийного ремонта и обслуживания при одновременном снижении стоимости выполнения работ.

## БАЗОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ

Базовая научно-производственная концепция АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» – создание высокотехнологичных СОБ с ЧПУ, функционально ничем не уступающих стационарным многоцелевым станкам мирового класса.

Основные преимущества многофункциональных роботов и станков объектного базирования (СОБ) с ЧПУ:

- высокоточная контурная обработка сложных фасонных поверхностей вращения в широком диапазоне режимов резания, включая обработку внутренней, наружной и торцевой резьбы фланцев методами точения и планетарного резьбофрезерования;
- высокоточная контурная фрезерная обработка поверхностей фланцев;
- сверлильно-расточная обработка крепежных отверстий на фланцах как метчиком, так и многопроходной обработкой резцом;
- наплавка поверхностей вращения и отдельных участков фланцев сложной геометрической формы;
- выборочное восстановление отдельных дефектных участков с предварительной выборкой, наплавкой и последующей окончательной обработкой с одного установа;
- бесконтактное автоматизированное измерение концентричности и торцового биения относительно базовых осей изделия при юстировке;
- автоматическая контурная сварка с предварительной и окончательной механической обработкой зоны сварного соединения сложной геометрической формы.

Особо важное значение имеет подвод смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) при обработке малоуглеродистых и нержавеющей сталей. Отсутствие системы охлаждения в СОБ зарубежного производства приводит к значительному снижению качества обработанных поверхностей, существенному снижению производительности обработки.

Концепция АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» предполагает оснащение СОБ системами автоматической подачи СОТС в зону резания, но, в отличие от стационарных обрабатывающих центров (ОЦ), где рекомендуется обильный подвод СОТС с давлением до 8 МПа, СОБ, не имеющие герметичных ограждений кабинетного типа, должны быть оснащены системами с минимальным расходом СОТС, но с подводом непосредственно к режущей кромке инструмента через корпуса вспомогательного и режущего инструментов и осевые отверстия вращающегося шпинделя.

Предлагаемый АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» подход базируется на утверждении, что качество и производительность обработки изделий в сбо-

ре с применением СОБ ни в чем не должны уступать аналогичным технологиям при обработке входящих в эти сборочные единицы деталей на стационарных станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах в цехах машиностроительных предприятий. Из этого следует, что функционально токарные, фрезерные, расточные, шлифовальные станки объектного базирования должны быть построены на тех же принципах и с такой же современной комплектацией. Это, прежде всего, применение систем ЧПУ, следящих синхронных комплектных сервоприводов, шариковинтовых передач, роликовых линейных направляющих, электронных систем измерения, программируемых контроллеров, устройств цифровой индикации и т.д.

Внедрению современного оборудования на наших ведущих стратегических предприятиях мешает засилье зарубежных поставщиков мобильных станков, навязывающих предприятиям под видом перспективного оборудования мобильные станки с гидро- и пневмоприводами, исключающими возможность реального онлайн-управления режимами работы в связи с отсутствием цифровой индикации и обратной связи по положению. Фактически иностранные компании переносят оборудование, созданное для мастерских и полевых условий, в сборочные цеха крупнейших отечественных предприятий и в генерирующие блоки электростанций. Обработка ответственных поверхностей крупногабаритного изделия производителем практически на глазок. Такие же проблемы возникают с производительностью черновых и точностью чистовых операций. Что касается сложной контурной обработки резьб, фасок, уступов, конусов, галтелей, то в этом случае производительность падает многократно.

Единственным выходом из создавшейся ситуации мы считаем создание отечественного производства широкой гаммы станков и роботизированных комплексов объектного базирования с ЧПУ с максимальной локализацией комплектующих. Это позволит существенно повысить точность и производительность обработки, снизить объем инвестиций и долю ручного труда, сократить производственный цикл, а главное – качественно изменить условия труда. В атомной энергетике, например, снизить дозовые нагрузки на персонал.

В качестве примера рассмотрим разработанный и изготовленный в АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» по ТЗ Кольской АЭС уникальный СОБ (обрабатывающий центр) с ЧПУ модели МСРП-300, который позволил повысить производительность и снизить дозовые нагрузки на персонал в 10 раз при тех же и даже меньших затратах на закупку данного вида оборудования.

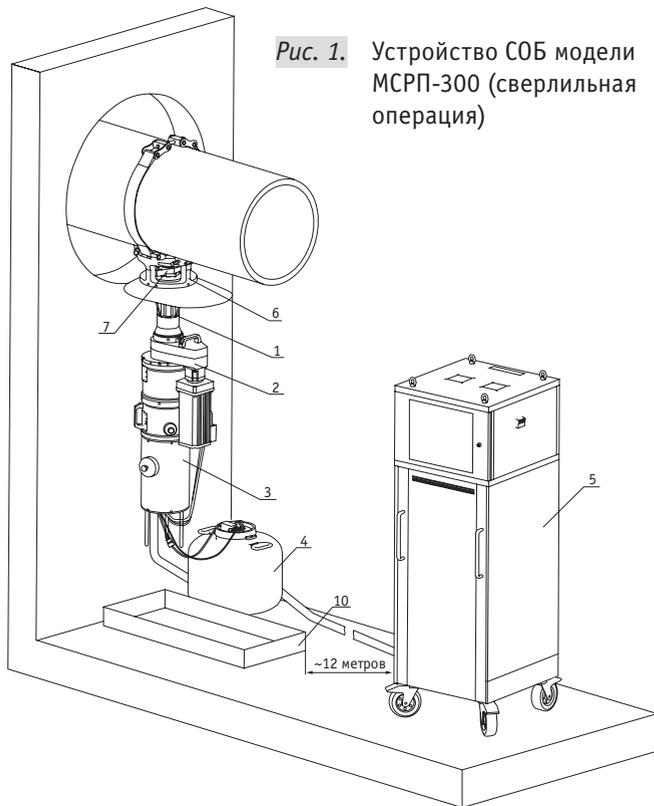


Рис. 1. Устройство СОБ модели МСРП-300 (сверлильная операция)

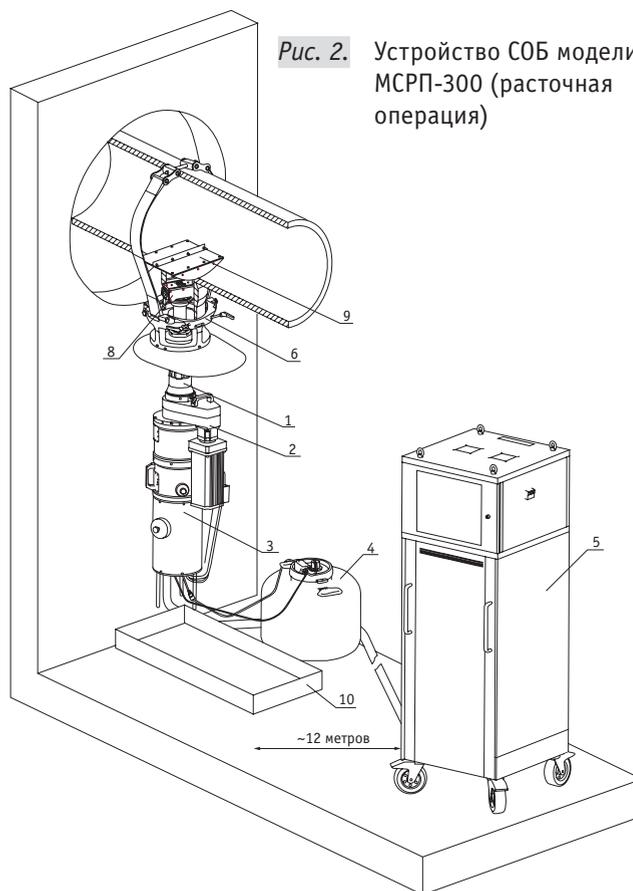


Рис. 2. Устройство СОБ модели МСРП-300 (расточная операция)

Данный обрабатывающий центр создан по Техническому заданию АО «Кольской АЭС» и обладает уникальными эксплуатационными характеристиками. Центр предназначен для выполнения двух операций механической обработки при ремонте трубопроводов диаметром 560 мм: вырезки отверстия диаметром 199 мм и расточки вваренного в трубопровод штуцера диаметром 207 мм.

Особую сложность при разработке центра представляли жесткие массо-габаритные ограничения, вызванные особо стесненными условиями работы в зоне ремонта и ограничениями нагрузки на трубопровод. Одной из наиболее приоритетных задач при разработке конструкции станка являлось максимально возможное снижение длительности работы оператора непосредственно в рабочей зоне – зоне повышенной радиационной нагрузки.

Устройство и принцип работы СОБ с ЧПУ модели МСРП-300 представлены на рис. 1.

Для выполнения первой операции (сверление отверстия в трубопроводе) станок устанавливается непосредственно на трубопровод. Базирование и закрепление станка осуществляется за счет обоймы 6. На обойму 6 установлен шпиндель 1, являющийся опорой резцедержки сверлильной 7 при вращении и осевом перемещении. Вращение обеспечивает привод вращения 2, установленный на шпинделе 1. Осевое перемещение обеспечивает привод подачи 3.

Для выполнения второй операции (расточка внутренней поверхности штуцера после сварки со срезкой подкладного конца) станок устанавливается на штуцер, вваренный в трубопровод (рис. 2). Для предотвращения попадания стружки в трубопровод установлена заглушка 9. Базирование и закрепление станка осуществляется за счет обоймы 6. На обойму 6 установлен шпиндель 1, являющийся опорой резцедержки расточной 8 при вращении, осевом и радиальном перемещении. Вращение обеспечивает привод вращения 2, установленный на шпинделе 1. Осевое и радиальное перемещение обеспечивает привод подачи 3.

Электрощкаф 5 с системой ЧПУ размещен в производственном помещении на расстоянии 12 м от активной зоны (рис. 3).

Рядом со станком установлен узел для подвода СОТС 4, подающий насосом из бака под давлением 0,1 МПа СОТС через вал резцедержки непосредственно в зону резания. Использованная СОТС собирается в специальном поддоне 10 (см. рис. 1, 2).

Основные технические данные, параметры и размеры СОБ с ЧПУ модели МСРП-300 указаны в табл. 1.

Такой станок с ЧПУ объектного базирования создан в России впервые. По своим характеристикам он не имеет мировых аналогов. Обрабатываю-



Рис. 3. Электрощкаф с системой ЧПУ

ший центр столь высокой функциональности, по своим возможностям не уступающий стационарным станкам с ЧПУ, существенно расширяет технологические возможности заказчиков. Его функционал не ограничен только операциями ремонта трубопроводов. Опциональные дополнительные устройства, технологическая оснастка и инструмент позволяют расширить область его применения на выполнение самых разнообразных и сложных операций механической обработки, как при проведении ремонтных работ, так и при изготовлении крупногабаритных изделий судостроения, энергетического и тяжелого машиностроения.

Обрабатывающий центр МСРП-300 является примером реального инновационного импортозамещения в области станкостроения, переоснащения отечественной тяжелой промышленности полнофункциональными

Таблица 1. Основные технические данные, параметры и размеры СОБ с ЧПУ модели МСРП-300

№ п/п	Наименование параметра	Величина параметра
1	Общие габариты станка при установке на трубопровод, мм	1600x600x400
2	Максимальный крутящий момент на шпинделе, Нм	310
3	Плавно регулируемая частота вращения, об./мин	0–120
4	Автоматически плавно регулируемая осевая и радиальная подача	Есть
5	Максимальная скорость холостого хода, м/мин	6
6	Подача на оборот, мм/об.	0–0,4
7	Общий вес станка при установке на трубопровод, кг	100
8	Максимальная масса отдельных сборочных единиц, не более, кг	25
9	Осевой ход режущего инструмента, обеспечивающий при расточке отверстия в штуцере возможность замены инструмента и измерения диаметра обработанной поверхности без демонтажа станка, мм	300
10	Точность установки при высверливании отверстия, не более:	
10.1	Относительно наружной поверхности трубопровода в вертикальной плоскости, перпендикулярно оси трубопровода отклонение оси шпинделя от горизонта, мм на 100 мм	0,2
10.2	В вертикальной плоскости, параллельно оси трубопровода отклонение оси шпинделя от перпендикулярности к оси трубопровода, мм на 100 мм	0,2
11	Время установки, юстировки, демонтажа станка для сверления, не более, мин	30
12	Время высверливания отверстия (без учета установки), не более, мин	40
13	Точность установки при расточке отверстия в штуцере, не более:	
13.1	Отклонение оси шпинделя относительно оси наружной поверхности штуцера с отклонениями от параллельности и концентричности относительно оси штуцера, мм на 100 мм	0,2
14	Время установки, юстировки, демонтажа станка для расточки после приварки штуцера, не более, мин	20
15	Время расточки отверстия после приварки штуцера, не более, мин	120
16	Шероховатость внутренней поверхности штуцера после расточки Ra, не более	3,2
17	Характеристики системы управления:	
17.1	Дистанционное управление режимами работы шпинделя и осевого и радиального приводов подач с цифровой индикацией режимов работы и положения исполнительных органов	Есть
17.2	Расстояние для возможности управления по п. 17,1 табл. 1, м	12
18	Подвод СОТС непосредственно к режущей кромке вращающегося инструмента при сверлении и растачивании через корпус режущего инструмента, резцедержку и шпиндель, слив СОТС в металлический поддон	Есть
19	Давление СОТС, МПа	0,1



Рис. 4. Общий вид СОБ с ЧПУ модели МСРП-300

многокоординатными станками с ЧПУ объектного базирования.

Высококвалифицированный персонал Кольской АЭС прошел практическое обучение в работе на новом оборудовании и в настоящее время станок успешно выполняет все возложенные на него функции.

Главной целью создания отечественного производства широкой гаммы станков и роботизированных комплексов объектного базирования с ЧПУ является обеспечение технологической независимости стратегических отраслей от западных поставок в условиях нарастающих санкций, а также от возможных проблем как с обеспечением запасными частями, так и с поставками нового оборудования.

Для решения этой задачи в настоящее время в России есть необходимые компетенции, производственные мощности, научный потенциал, специалисты, а также внимание государства и государственных корпораций к этому вопросу. Опережающее финансирование НИОКТР позволило бы

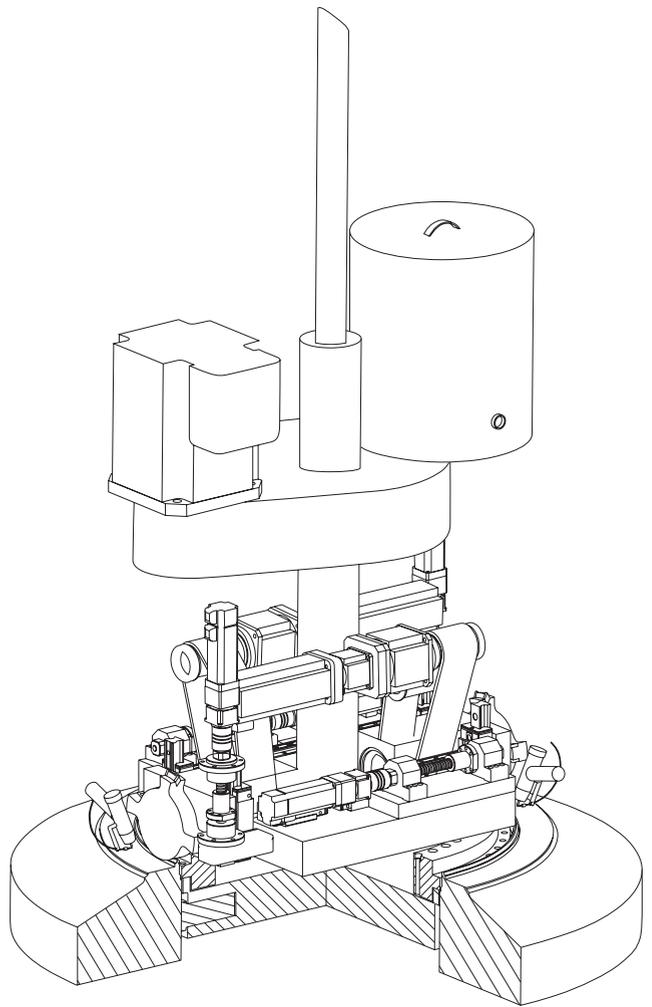


Рис. 5. Станок с ЧПУ объектного базирования с аддитивной функцией контурной наплавки фланцев и внутренним креплением



Рис. 6. Токарно-расточной наплавочный станок с ЧПУ



Центр компетенций в области  
ультрапрецизионных технологий  
наноточной обработки  
особоответственных деталей

# ВНИИИНСТРУМЕНТ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

## Ультрапрецизионные технологии обработки:

- тонкого алмазного точения;
- тонкого алмазного фрезерования;
- тонкого алмазного шлифования.

- ◆ точность формы обработанных поверхностей менее 50 нанометров;
- ◆ шероховатость обработанных поверхностей менее 10 нанометров.

### Ультрапрецизионные станки с ЧПУ

- ◆ базовые детали из натурального камня



Станки  
ультрапрецизионные  
фрезерные с ЧПУ  
серии «КДП»,  
изготовленные  
по СТО 00224633-008-2016  
(Код промышленной  
продукции по ОК 034-2014  
(КПЕС 2008) - 28.41.22.130;  
Код промышленной  
продукции по ТН ВЭД ЕАЭС -  
8459619008).

### Ультрапрецизионные узлы на аэростатических опорах

- ◆ шпиндельные узлы  
(биение оси менее 50 нанометров);
- ◆ линейные суппорты  
(прямолинейность перемещения  
менее 50 нанометров на длине 300 мм);
- ◆ поворотные столы  
(с разрешающей способностью 0,01")

Станки  
ультрапрецизионные  
токарные с ЧПУ  
для обработки деталей  
сложной формы  
серии «СФЕРА»,  
изготовленные  
по СТО 00224633-006-2016  
(Код промышленной  
продукции по ОК 034-2014  
(КПЕС 2008) - 28.41.21.120;  
Код промышленной  
продукции по ТН ВЭД  
ЕАЭС - 8458918009).



### Изготовление особоответственных деталей

- ◆ из материалов на основе закаленной стали, алюминия, меди, германия и кремния;
- ◆ линз Френеля и прессформ для производства линз Френеля;
- ◆ оптики с асферическими поверхностями из стекла, кварца, сапфира, ситалла.



Станки  
ультрапрецизионные  
шлифовальные  
серии «Ангстрем»,  
изготовленные  
по СТО 00224633-011-2016  
(Код промышленной  
продукции по ОК 034-2014  
(КПЕС 2008) - 28.41.23.130;  
Код промышленной  
продукции по ТН ВЭД ЕАЭС -  
8460241009).



АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»  
член международной ассоциации  
European Society for Precision Engineering  
and Nanotechnology (euspen).

Заключение о подтверждении производства промышленной  
продукции на территории Российской Федерации от 10.07.2019 г.  
№ 46551/05 (Минпромторг России).

[www.vniinstrument.ru](http://www.vniinstrument.ru)



Рис. 7. Токарно-расточной наплавочный станок с ЧПУ (токарная операция)

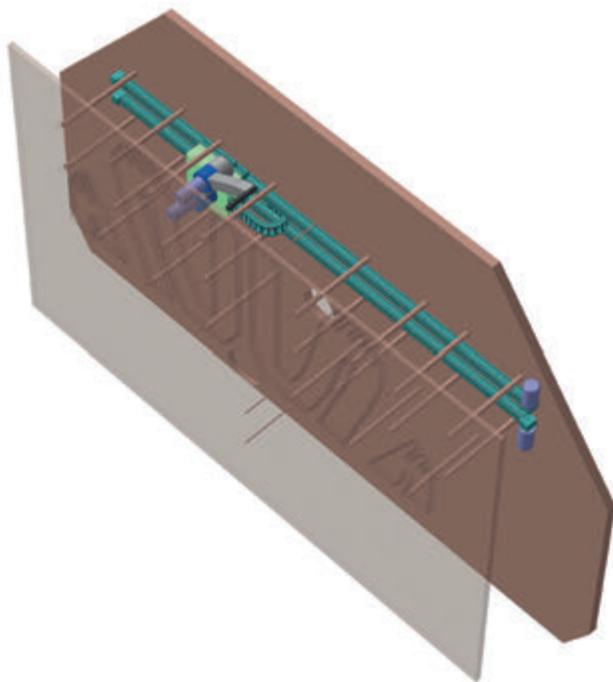
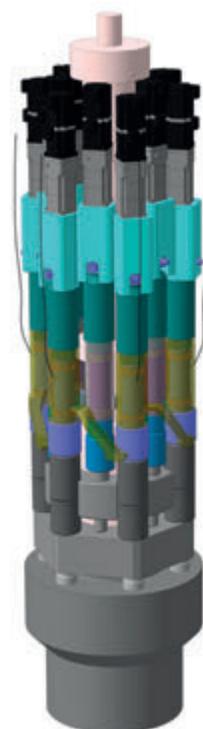


Рис. 8. Роботизированный автоматический комплекс для непрерывного обслуживания крупногабаритных конденсаторов водяного охлаждения атомных электростанций



Рис. 9. Роботизированный комплекс для токарно-шлифовальной механической обработки и наплавки сварных швов закрытых трубопроводных систем

Рис. 10. Многошпиндельный динамометрический гайковерт с ЧПУ



в кратчайшие сроки не только освоить всю гамму необходимого российской промышленности оборудования объектного базирования, но и довести до серийного применения уникальные конструкторские и технологические решения, кардинально решить проблемы виброустойчивости, оптимизации режимов резания, метрологии, снижения влияния человеческого фактора и достичь решения кадрового вопроса.

Задача может быть решена только при обоюдной заинтересованности заказчиков и исполнителей в кардинальном повышении эффективности построения технологий не только на современном мировом уровне, но и опережающего развития отрасли, обеспечить качественный рывок в данном сегменте на уровне 6-го технологического уклада и «Индустрии 4.0».

АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» совместно с партнерами – машиностроительными предприятиями – готовы обеспечить проведение НИОКР, изготовление опытных образцов и запуск импортозамещающего серийного производства на собственной производственной базе одного из наиболее востребованных видов станкоинструментальной продукции: токарно-фрезерно-шлифовальных роботов и станков с ЧПУ объектного базирования с аддитивной функцией, с функциями автоматической контурной сварки и наплавки, оборудования с ЧПУ для автоматизированной механической сборки фланце-

вых соединений, роботизированных комплексов для технического обслуживания крупногабаритного энергетического оборудования.

В настоящее время АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» ведет разработку следующих видов уникального многофункционального, в том числе аддитивного, оборудования объектного базирования:

- сверлильно-расточной станок с ЧПУ объектного базирования с аддитивной функцией автоматической контурной сварки для изготовления отводов крупногабаритных трубопроводов (рис. 4);
- гамма токарно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ объектного базирования с аддитивной функцией контурной наплавки фланцев с внутренним креплением (рис. 5);
- гамма токарно-расточных наплавочных станков с ЧПУ объектного базирования с автоматической юстировкой и контролем размеров для ремонта главных разъемов атомных реакторов по безлюдной технологии (рис. 6, 7);
- роботизированный автоматический комплекс для непрерывного обслуживания крупногабаритных конденсаторов водяного охлаждения атомных электростанций (рис. 8);
- роботизированный автоматический комплекс для токарно-шлифовальной механической обработки и наплавки плакирующего антикоррозион-

ного покрытия на внутренних поверхностях сварных швов закрытых трубопроводных систем (рис. 9);

- гамма многошпиндельных динамометрических гайковертов с ЧПУ для контролируемой равномерной затяжки болтов и шпилек особо ответственных фланцевых соединений (рис. 10).
- АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» готов реализовать любые ТЗ заказчиков.

**НЕГИНСКИЙ Евгений Анисимович** –  
заместитель генерального директора  
по инновационным проектам

**БОРОВСКИЙ Владислав Георгиевич** –  
заведующий отделом инновационных технологий  
и новых методов механической обработки

**КОСТЮКОВСКИЙ Павел Андреевич** –  
инженер-конструктор

**МАККОВЕЕВА Марина Владимировна** –  
ведущий конструктор

**ОТТ Олеся Сергеевна** –  
старший научный сотрудник

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ:

- Министерство промышленности, связи, цифрового и научно-технического развития Омской области
- Администрация города Омска
- Межрегиональная ассоциация «Сибирское соглашение»
- Омская ТПП
- НП «Сибирское машиностроение»
- Союз машиностроителей России

**18-19** МАРТА 2020 Г.  
**ОМСК**

**ИНТЕРСИБ**  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР

**ОМСК-ЭКСПО**  
ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

**СИБИРСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО-ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ**

**ПРОМТЕХЭКСПО**

В экспозиции форума:

- АВТОМАТИЗАЦИЯ. ЭЛЕКТРОНИКА. ИЗМЕРЕНИЯ
- СВЯЗЬ
- IT-ТЕХНОЛОГИИ
- ОМСКГАЗНЕФТЕХИМ
- МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛООБРАБОТКА. СВАРКА
- ЭНЕРГОСИБ. СИБМАШТЭК • ИНЭКСПО

Тел/факс: +7 (3812) 22-04-59 22-23-30; 22-01-59    МВЦ «ИНТЕРСИБ»    E-mail: expo@intersib.ru  
ВК «ОМСК-ЭКСПО»    www.intersib.ru