

*Мы вполне отдаем себе отчет, что один наш журнал не в силах преодолеть невосприимчивость архаичного производства, характерного для большинства промпредприятий на постсоветском пространстве, к современным достижениям в технике и технологиях, включая и сферу робототехники. Однако такое понимание не останавливает нас в стремлении пропагандировать эти достижения и опыт их применения, что мы и делаем на протяжении последних 17-ти лет. Ведь под лежащий камень вода не течет...*

*Чтобы внести некоторую позитивную струю в то, что касается применения роботов и ПО для их программирования, мы попросили Иво Липсте, вице-президента ГК COLLA, который на протяжении последних лет семи, отвечает за бизнес специализированной САМ-системы Robotmaster на постсоветском пространстве, поделиться с читателями информацией с этих рынков – в том числе, связанной с его личным участием в ряде робототехнических проектов в России.*

## Когда без роботов – дело труба

### Примеры роботизированных решений для вредных работ на российских предприятиях

Иво Липсте (вице-президент ГК COLLA)

ivo@colla.lv

Сегодня мы все реже сталкиваемся с недоумением, недоверием и скепсисом, когда речь идет о применении промышленных роботов для выполнения задач механообработки, сварки и других тракторных работ. С каждым днем роботы всё активнее и настойчивее внедряются в производство, уверенно заменяя человека в процессах, требующих рутинного, тяжелого, вредного для здоровья (а иногда и опасного) ручного труда. В качестве одного из распространенных примеров можно назвать роботизированные решения для гибочных станков, когда промышленный манипулятор обеспечивает захват заготовки, процесс самой гибки и раскладку готовых деталей. Другой типичный пример: на основе одного или нескольких роботов создается решение для подачи заготовок в зону обработки станков с ЧПУ и съема готовых деталей. Подобные комплексы можно увидеть в действии на выставках. Нередко производители станков или компании-интеграторы демонстрируют и более сложные решения, когда несколько роботов трудятся совместно с группой станков с ЧПУ – загружая заготовки, перемещая их между станками и, в завершение процесса, пакуя готовую продукцию в коробки.

В этой статье я бы хотел поговорить о решениях, которые призваны заместить человека при выполнении не слишком полезных для здоровья производственных операций. Не будем искать самые вредные процессы в мире, начнем с обыденных и часто встречающихся работ. Например – пыльные, такие как зачистка деталей абразивным инструментом или струей с мелкодисперсным абразивным материалом. Другим широко распространенным примером могут служить операции, при выполнении которых выделяются вредные испарения – это покраска, нанесение различных покрытий.

Во многих случаях – особенно, когда речь идет о крупных партиях деталей одинаковой



формы – имеет смысл побережь здоровье сотрудников и переложить выполнение подобных задач на плечи промышленных роботов. Понятно, что роботизированное решение обойдется дешевле, но, тем не менее, посчитать получаемые выгоды всё же стоит. Нам не раз приходилось обсуждать возможные варианты таких решений на многих предприятиях, и вот вам примеры из жизни.

#### Пример №1: очистка от облоя

На ручных операциях зачистки и снятия облоя и остатков литниковых выступов абразивным инструментом в цехе заняты примерно 25÷30 “водолазов”. Несмотря на наличие вытяжной системы вентиляции, в цехе спокойно можно снимать ужасики про чертей в аду, причем практически без дополнительных декораций. Руководство предприятия долго ломало голову, как избавиться от всей этой inferнальной экзотики с помощью промышленных роботов.

После проведения ряда тестовых испытаний и планирования техпроцесса с применением роботов, получилось, что тот же объем продукции могли бы обеспечить три круглосуточно работающие роботизированные ячейки, соответственным образом оснащенные. Прикидки по окупаемости вложений для подобного решения (с учетом стоимости программного обеспечения для подготовки УП) показали, что срок окупаемости составляет примерно полтора года – есть над чем задуматься.

#### ✓ Оборудование

Немного о том, как происходил процесс подготовки тестовой задачи. К сожалению, заказчик не дал нам добро на публикацию какой-либо информации о себе, а также визуальных материалов по данному проекту – так что разбираться будем сугубо вербально, в повествовательной форме.

В качестве решения был выбран робот от **KUKA** и комплект ПО **Mastercam + Robotmaster**. Само собой разумеется, что заказчик подготовил длинный список “желаемых требований”, суть которых можно свести к следующим группам выполняемых действий:

- срезание остатков литниковой системы;
- срезание облоя;
- снятие шлифовкой верхнего слоя деталей для

удаления возможных вкраплений в металл остатков формирующего песка.

Встречное предложение с нашей стороны было таким: добавить первичную черновую обработку фрезерованием тех мест деталей, где после литья осталась избыток материала.

При анализе возможных форм деталей, подлежащих обработке, выяснилось, что нужно решить задачу обработки деталей со всех сторон.

После серьезного анализа мы остановились на схеме “*Part-to-Tool*”, которая предполагает, что манипулятор захватывает деталь и перемещает её по зонам обработки, в которых неподвижно установлены рабочие агрегаты. Такой подход был возможен, поскольку с помощью набора ПО **Mastercam + Robotmaster** подготовить УП для робота в этом случае столь же просто, как и в случае применения классической схемы “*Tool-to-Part*” – когда робот держит агрегат (шпиндель с фрезой или привод со шлифовочной насадкой).

Несколько слов о том, почему мы отказались от классической схемы “*Tool-to-Part*”. Дело в том,

что тогда пришлось бы решать задачу смены агрегатов. Рассмотрим, почему в данном случае смена агрегатов не является предпочтительным образом действий:

- среда, в которой должны храниться агрегаты, насыщена пылью, и эта пыль будет засорять зону сцепления сменной муфты;

- сами сменные муфты в исполнении с полным подключением всего того, что нужно для конкретного агрегата – удовольствие весьма дорогое;

- поскольку сменные рабочие агрегаты будут находиться в пыльном пространстве, придется решать сложную задачу их отчистки после каждого применения;

- следствием необходимой мощности самих агрегатов является то, что они будут достаточно тяжелыми – значит, потребуются более массивный и более дорогой робот;

- громоздкие и габаритные агрегаты в большинстве случаев значительно ограничивают амплитуду рабочих движений манипулятора при выполнении обработки.

В случае использования неподвижных агрегатов их габариты и вес значения не имеют – главное, чтобы зона контакта самого инструмента с обрабатываемой деталью находилась в максимально открытом пространстве. При этом конструкция агрегатов становится значительно проще.

Манипулятор в нашем случае требовалось оснастить захватом и системой распознавания положения детали.

## Жизнь в эпоху перемен... и роботов

Слово “робот”, придуманное братом писателя Карела Чапека, Йозефом, стало известным в 1921 году, когда вышла пьеса “*Rossum's Universal Robots*”. Пилотный промышленный робот-манипулятор появился в 1937-м и имел вид небольшого крана. Еще через пять лет Виллард Поллард и Харолд Роузланд запатентовали программируемый механический распылитель краски. Но настоящий прорыв, давший толчок появлению робототехники как индустрии, произошел в середине 1950-х, когда Джордж Девол изобрел автоматическую программируемую руку-манипулятор. Совместно с Джозефом Энгельбергером, которого многие ученые считают “отцом” робототехники, он основал в 1956 году компанию *Unimation*, что положило начало коммерческому применению промышленных роботов.

Сегодня некоторые специалисты по робототехнике и многие обозреватели рынков сходятся во мнении, что на планете Земля вот-вот воцарится эпоха роботов, как одно из проявлений 4-й промышленной революции, не замечать торжественную поступь которой уже просто неприлично.

За редким исключением, и сервисные, и промышленные роботы стремятся расселиться в тех же странах, куда направлены потоки

беженцев – политических, экономических и беженцев-завоевателей. Как и беженцев, роботов тепло принимают в развитых странах Западной Европы, а также в странах эмигрантов – США и Канада. Кроме того, значительная часть произведенных роботов патриотично расселяется и добросовестно трудится по месту изготовления – в Японии и Южной Корее, где уровень автоматизации производственных процессов и без того высок, а также – в Китае, где воля и решения Партии – главная производительная сила, определяющая суть тамошних производственных отношений.

В каждой из названных стран количество ежегодно закупаемых и устанавливаемых промышленных роботов измеряется несколькими десятками тысяч. Для сравнения – **в России в 2015 году было закуплено примерно 550 роботов**. Пока светлые головы на Западе, включая самого г-на Гейтса, обсуждают идею налогообложения труда роботов, российские предприятия неспешно ищут сферы применения робототехники, отвечающие их критериям эффективности и строгости спроса на результат, при этом практически никогда не утруждая себя скучными расчетами экономического эффекта и сроков возврата инвестиций. Но есть и иные примеры, достойные подражания.

### ✓ Подготовка и отладка УП

Последовательность действий для подготовки необходимых УП такова. Первым делом, в среде CAD/CAM-системы *Mastercam* формируется (на основе 3D-модели отливки и с учетом 3D-модели самой детали) набор необходимых траекторий обработок и последовательность их выполнения – то есть так, как это предполагается делать в роботизированной ячейке.

Далее необходимо создать в среде *Robotmaster* виртуальную 3D-ячейку, в состав которой входит сам робот и расположенные вокруг него рабочие зоны с неподвижными агрегатами (два шпинделя с фрезами, три агрегата с абразивным инструментом).

После этого подготовленная последовательность траекторий загружается в среду *Robotmaster* и “ставится” на созданную виртуальную ячейку. Отладку и оптимизацию каждой операции технолог-программист проводит с учетом всех особенностей движения самого робота, агрегатов и объектов, находящихся в ячейке.

Рассмотрим, какие головоломки будут ожидать технолога-программиста при отладке предполагаемых рабочих движений:



*Фотография, взятая из интернета: шлифовка детали методом “Part-to-Tool”, когда робот держит деталь и подводит её к стационарному агрегату шлифовки*



*Фотография, взятая из интернета: шлифовка абразивным диском по схеме “Tool-to-Part”*

- как правило, это будет весь типичный спектр хорошо известных проблем, возникающих у манипулятора при выполнении движений по заданной траектории (сингулярность, переворот кисти, выворачивание суставов в одну сторону до предельных значений, выход из зоны досягаемости);

- возможно, понадобится помочь роботу с начальной ориентацией детали при заходе на операцию – чтобы предотвратить вращение суставов в одну сторону, что приводит к выходу за границы допустимых угловых значений поворота;

- при выполнении рабочих и вспомогательных движений могут возникнуть соударения – между деталью, роботом, навесным оборудованием и объектами, находящимися в ячейке;

- точно понадобится корректировать поведение робота при выполнении переходных движений между операциями в пределах одной и той же зоны обработки, равно как и переходов между зонами;

- скорее всего, движения манипулятора на каких-то участках траектории придется подредактировать вручную.

Страшно представить, что будет, если эти проблемы придется выявлять в цехе, запуская “сырую” программу в пошаговом режиме. Вдумайтесь, сколько времени понадобится для её проверки и одного только выявления проблемных мест, отрывая при этом робота от производства. Но обнаружение проблем – это лишь часть дела. Следующей задачей становится понимание того, какие конкретные действия должен предпринять технолог-программист для устранения каждой проблемы, особенно с учетом их взаимосвязанности. Поскольку человек не в состоянии проанализировать всю траекторию наперед, он не может гарантировать, что устранение какой-то частной коллизии не вызовет проблем при последующих действиях робота. Итерационная отладка УП вручную, методом “научно обоснованного тыка” – очень затратное по времени и дорогое удовольствие, которое не может позволить уважающий себя предприниматель.

Совершенно очевидно, что средства компьютерной оптимизации здесь крайне необходимы. О том, как создавать и отлаживать УП для роботов быстро и эффективно, используя функциональные возможности решения *Mastercam + Robotmaster*, уже описано мною во множестве статей для *Observer’a* – советую их перечитать. Здесь имеет смысл напомнить лишь об основном преимуществе этого решения. Вне зависимости от того, будет ли управляющая программа короткой (простой) или длинной (сложной), технолог-программист всегда сможет увидеть на экране компьютера, как именно выполняются движения по всей траектории, и где именно возникают коллизии. Более того, в его распоряжении будет обширный набор программных инструментов для быстрого устранения этих проблем. Результатом станет “чистая” УП, которую можно сразу запустить в цехе и получить ожидаемый результат. То есть, всё происходит ровно так, как это уже десятилетиями делается с помощью САМ-систем при подготовке УП для станков с ЧПУ.



## Пример №2: нанесение покрытий

Рассмотрим еще один пример вредной для здоровья работы, которую можно поручить роботу – нанесение покрытий.

Как правило, процесс нанесения покрытий связан с испарением наносимого материала, наличием его микрочастиц в воздухе рабочего помещения. Конечно, частично данную проблему можно решать, оборудуя замкнутые пространства вентиляцией и фильтрами. Но в любом случае человек в такой среде может находиться и работать только в соответствующем химзащитном костюме. При использовании роботизированных решений оборудование тоже придется закрывать специальными кожухами – дабы пресечь прилипание к нему этих самых микрочастиц.

Одним из наиболее распространенных видов является нанесение покрытий на основе двухкомпонентных смол с каким-то наполнителем, придающим покрытию определенные свойства. В нашем случае компания наносила упрочняющее покрытие на одну сторону достаточно крупных деталей, получаемых вакуумной формовкой, – ванн. Покрытие представляет собой двухкомпонентную смолу со стекловолоконным наполнителем.

Года полтора назад компания задумалась над вопросом роботизации и приобрела промышленного робота – в первую очередь, для упомянутой задачи. Как это часто бывает, процесс освоения нового оборудования шел параллельно с выполнением регулярных работ на производстве. Непосредственно изучение робота было поручено технологу-программисту, который обеспечивал выпуск УП для станков с ЧПУ.

К моменту начала обсуждения, касающегося применения комплексного решения *Mastercam + Robotmaster*, технолог уже научился программировать движения робота с пульта методом прямого обучения. Потратив достаточно много времени, он смог заставить манипулятор совершать движения, похожие на нанесение материала на тыльную сторону ванны. Тем не менее, результатами он был не очень доволен: отладить ручную программу, необходимую для реального управления пятном эллипсообразной формы, характеризующим попадание материала на поверхность, было невозможно.

Компания обратилась к нам с просьбой найти решение, способное обеспечить офлайн-программирование робота для подобных целей. При этом требовалось решение на базе САМ-системы, которая могла бы еще служить и для подготовки УП для станков с ЧПУ.

Естественно, компания выразила желание провести полноценное тестирование УП на роботизированной ячейке. Для облегчения понимания самого процесса нанесения покрытия нам предоставили видеоролик,

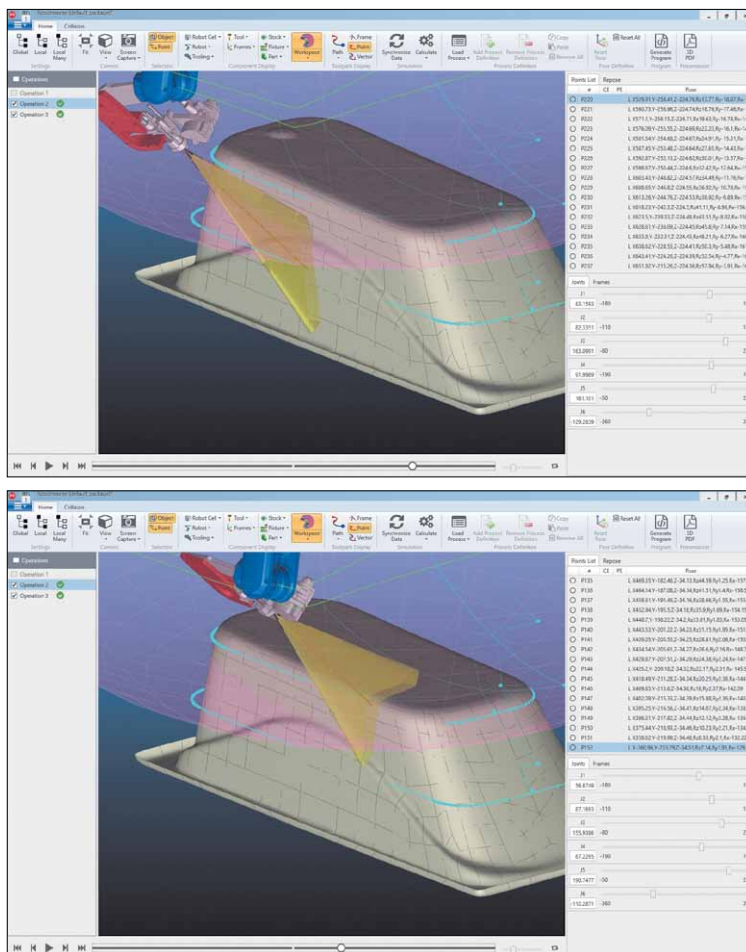
наглядно показывающий, как это делает человек вручную.

Заранее могу сказать, что результат был хорошим, хотя с определенными сложностями мы столкнулись. Попробую конспективно отразить процесс, чтобы читателям стало понятно, какие дополнительные аспекты выявились в ходе подготовки тестовой задачи.

Как правило, всё начинается с подготовки в среде системы виртуальной ячейки с роботом и навесным оборудованием – в нашем случае назовем его для краткости краскопультом.

Поскольку качественную 3D-модель ячейки, в которой робот перемещался на раме “головой” вниз, и краскопульта компания уже имела, то здесь сложностей не возникло.

Сам процесс нанесения покрытия происходит с довольно большого расстояния: в интервале 500–700 мм от сопла до поверхности; это необходимо для правильного смешивания компонент в струе наносимого материала. Отличительной особенностью в нашем случае являлась форма струи



*Интерфейс среды симуляции Robotmaster. Эти две иллюстрации показывают, как выглядит “пятно попадания” покрытия в двух разных местах траектории. Обратите внимание – наклон и поворот струи при движении изменяются*

покрытия: при попадании её на поверхность формируется сильно вытянутый эллипс. Как выяснилось, именно так в потоке правильно смешиваются смола, затвердитель и стекловолоконный наполнитель. Если бы при автоматизации этой задачи струю можно было представить в виде круглого конуса, задача упростилась бы многократно.

Когда нам стало понятно, как именно должно наноситься покрытие, можно было приступить к подготовке самих траекторий инструмента (в нашем случае – краскопульта со струей краски в виде эллиптического конуса) в среде *Mastercam*.

Многие наверняка подумали: а почему бы не воспользоваться специализированным роботом для покраски и специальным софтом, созданным для таких целей? На это можно ответить следующее:

- выпускаемые роботы такого типа предназначены для покрытий, которые наносятся именно как краска – в нашем же случае материал имеет совершенно другую консистенцию;
- роботы для покраски стоят значительно дороже обычных, и они не универсальны;
- софт для подготовки УП для покраски стоит очень дорого, и при этом он тоже не является универсальным (к примеру, УП для фрезерования с его помощью создать невозможно).

Итак, в среде *Mastercam* на основе 3D-модели были созданы необходимые **5-осевые траектории** – так, чтобы основная ось струи при движении краскопульта удерживалась по нормали к выпуклой поверхности ванны. После этого началась отладка траекторий в среде *Robotmaster* – с учетом положения робота относительно ванны и особенностей управления эллиптическим конусом струи.

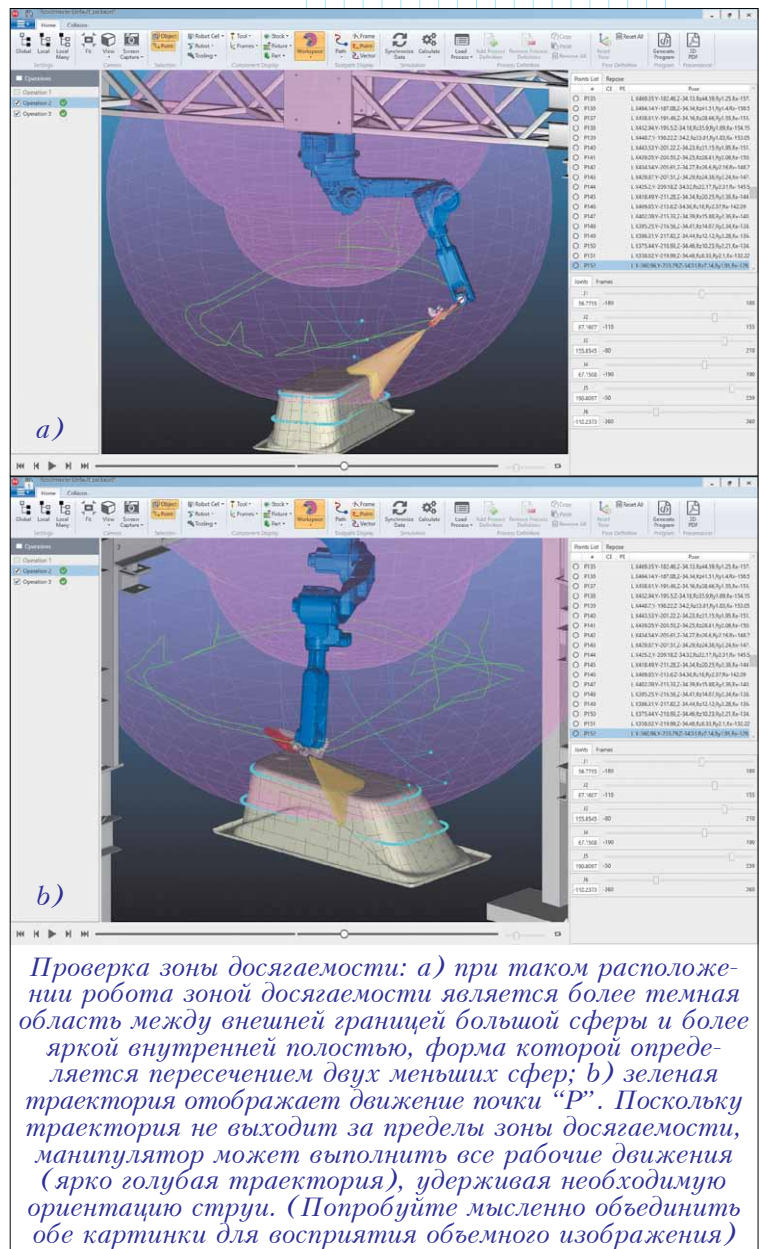
Первая задача – найти правильное положение ванны по отношению к расположению неподвижного робота, подобно летучей мыши висящего “головой” вниз. Правильность заключается в том, чтобы при всех движениях манипулятора, ванна находилась в зоне уверенной досягаемости. Дополнительное условие: оставить максимально возможное пространство между роботом и ванной, чтобы обеспечить ему место для маневров. Для этого в арсенале *Robotmaster* имеются специальные средства, которые помогают решить такую задачу быстро.

Следующая задача заключалась в том, чтобы задать правила ориентации и движения сильно вытянутого эллипсоидного пятна попадания струи на поверхность ванны. На самом деле тут параллельно решается множество задач. Главная трудность вызывалась тем, что строго определенная позиция пятна на поверхности сильно ограничивает диапазон подвижности суставов, а это вызывает ряд коллизий при движении манипулятора. Справиться с этой задачей помогает набор интерактивных, одновременно работающих оптимизаторов

траектории: они позволяют увидеть, где конкретно по всей траектории возникают проблемы, диагностировать вид проблемы и, в соответствии с цветовой картой пространства движений, определить, что нужно предпринять для устранения коллизий.

Помимо этого, в среде *Robotmaster* можно быстро определить, где возникают проблемы с движениями подходов/отходов и переходами между отдельными операциями, и оперативно устранить их в интерактивном режиме.

Вполне возможно, что даже это краткое описание выполняемых действий по отладке УП вызвало легкий трепет. Но волноваться не следует: многое здесь вызвано спецификой данной задачи, где одновременно нужно было управлять пятном попадания наносимого покрытия и отслеживать практически все движения, которые выполняются очень



*Проверка зоны досягаемости: а) при таком расположении робота зоной досягаемости является более темная область между внешней границей большой сферы и более яркой внутренней полостью, форма которой определяется пересечением двух меньших сфер; б) зеленая траектория отображает движение почки “Р”. Поскольку траектория не выходит за пределы зоны досягаемости, манипулятор может выполнять все рабочие движения (ярко голубая траектория), удерживая необходимую ориентацию струи. (Попробуйте мысленно объединить обе картинки для восприятия объемного изображения)*

близко к границе досягаемости робота. И, как показала практика, задача эта вполне решаемая. Другими словами, если “игольное ушко” имеется, то *Robotmaster* поможет его найти и подскажет способ, как в него пролезть.

### Необходимость точной настройки

Теперь немного о другом – о тех аспектах, которые дополнительно выявляются в ходе подобного тестирования.

Итак, предприятие получило робота и освоило его программированием в режиме обучения с пульта. Однако при переходе на программирование с помощью САМ-системы отношение к некоторым вещам придется серьезно пересмотреть. При программировании в режиме обучения рабочий орган вручную подводится к необходимым точкам, и эти положения робот запоминает. В результате получается последовательность реальных точек – траектория. Точная настройка робота и навесного оборудования в данном случае не требуется, всё происходит “по месту”.

Если же предусматривается формировать траектории с помощью САМ-системы, то на робота придется смотреть как на станок с ЧПУ. В этом случае робот и другие объекты, входящие в зону обработки, должны быть безупречно “выставлены” и откалиброваны – примерно так же, как это делается при установке в цехе традиционного оборудования с ЧПУ.

### Заключение

При построении на базе промышленных роботов производственных решений для каких-то задач, не следует забывать о том, что без управляющей программы эти роботы работать не будут. Также не следует слепо верить утверждениям, что робота легко программировать с пульта методом непосредственного обучения. Возможно, иногда это и соответствует истине, но лишь для задач типа “возьми – положи”, требующих небольшого количества простых движений. Если же возникнет идея подготовить с пульта рабочие движения для нормальной механообработки (пусть даже дело касается не очень сложной объемной детали), то быстро станет понятно, что это, в лучшем случае, потребует массы сил и времени (зачастую нескольких дней, причем сам робот в этот период будет вырван из производственного процесса). Но, вероятнее всего, создать УП, удовлетворяющую всем требованиям, просто не удастся.

Вывод прост – **роботизированное решение для задач механообработки должно состоять из двух компонентов:** сама роботизированная ячейка со всем оснащением и достаточно мощное программное решение на базе САМ-системы, способное обеспечить выпуск качественных УП для робота. 🙄

◆ Выставки ◆ Конференции ◆ Семинары ◆

## 20-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ТЕХИННОПРОМ

ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Проводится под патронажем Правительства Республики Беларусь

**23-26 мая 2017**

ФУТБОЛЬНЫЙ МАНЕЖ  
пр. Победителей, 20/2  
г. Минск, Беларусь

- Промышленное оборудование, технологии и продукция
- Энергетика в промышленности, энергосбережение, экология
- ИМТЕХ – специальная экспозиция инновационных материалов и технологий

ЭКСПОФОРУМ  
выставочное предприятие



EXPOFORUM.BY



+375 17 314 34 35



pva@expoforum.by

Унитарное предприятие “Экспофорум”  
УНП 100702/81