

# Новая версия системы *Robotmaster*

Иво Липсте (COLLA Ltd., Рига)

ivo@colla.lv

Только что вышла в свет новая версия *Robotmaster*, в которой появился ряд существенных новшеств. Я приглашаю читателей ознакомиться с ними. Так как по ходу дела мы будем говорить о разных аспектах кинематики роботов, понять их нам поможет схема расположения осей (рис. 1).

## Несколько слов об особенностях роботов

Если вести речь о многоосевой фрезерной обработке, то известно, что система *Mastercam* умеет создавать траектории обработки, где используется перемещение инструмента с 5-ю степенями свободы. В зависимости от исполнения конкретного станка с ЧПУ, комбинация одновременно управляемых осей складывается из трех линейных (*XYZ*) и двух из трех (*ABC*) поворотных степеней свободы. По сути, система создает траекторию, где в каждой частной позиции положения инструмента выводится трехмерная координата характерной точки и *3D*-вектор наклона инструмента. При подготовке УП для традиционного станка с ЧПУ вектор наклона инструмента на стадии постпроцессорирования преобразуется в значения углов для двух поворотных осей данного станка, описанных в конфигурации постпроцессора.

Типичный робот может выполнять движения с 6-ю степенями свободы – *XYZABC*. Если смотреть с позиции станка с ЧПУ, можно заметить, что манипулятор в состоянии выполнять вращения вокруг оси инструмента. На первый взгляд кажется, что эта степень свободы не представляет большого интереса, но это не так.

Чтобы понять важность данного вопроса, рассмотрим простой пример.

На рис. 2 показан манипулятор, на котором установлен фрезерный шпиндель. Обратите внимание, что сам шпиндель смонтирован на переходной платформе под

определенным углом. Допустим, что данное положение робота – это точка на некоторой траектории. Если представить, что мы зафиксировали положение инструмента в пространстве (*XYZ*) и ориентацию оси инструмента, то, используя возможность вращения манипулятора вокруг оси инструмента, можно получить множество разных положений суставов (рис. 3).

Таким образом, управляя вращательными движениями манипулятора вокруг инструмента, можно обеспечить досягаемость зон обработки. В большинстве случаев, это позволяет избежать двух основных видов коллизий – столкновения частей

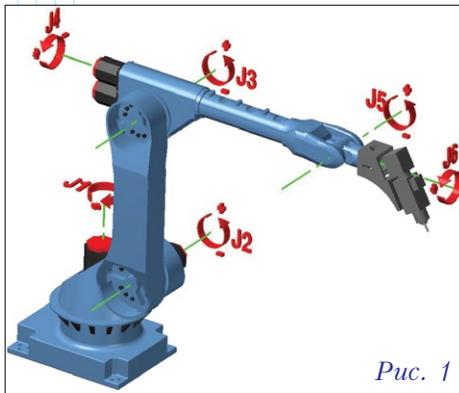


Рис. 1

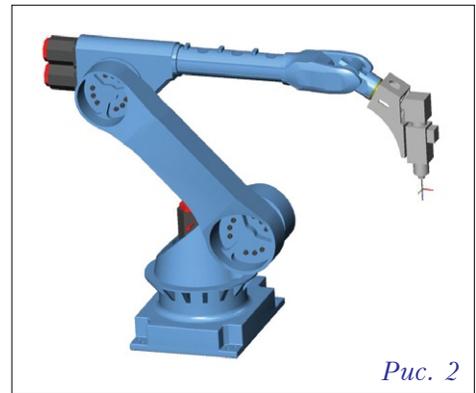


Рис. 2

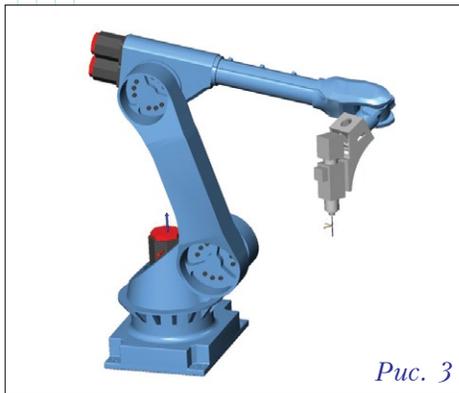


Рис. 3

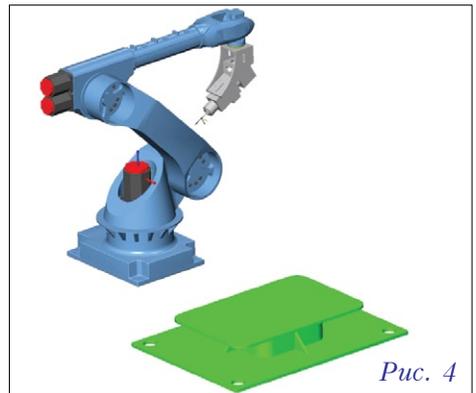


Рис. 4

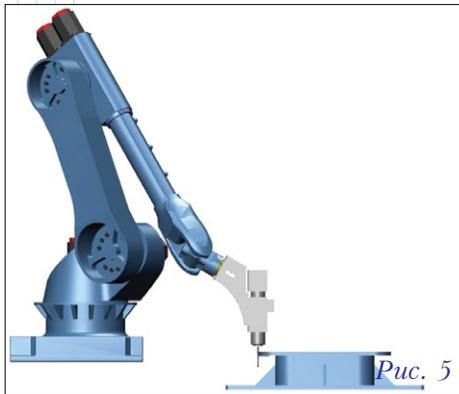


Рис. 5

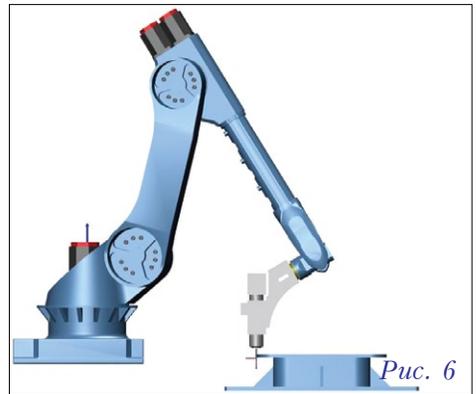


Рис. 6

робота при движении и выворачивания суставов в предельное положение.

Рассмотрим другой пример (рис. 4), когда необходимо выполнить обработку контура верхней плиты. Если положение шпинделя при работе будет таким, как показано на рис. 5, то столкновение суставов манипулятора неминуемо; если же развернуть шпиндель на  $180^\circ$  (рис. 6), то всё будет в порядке.

## Возможные коллизии

Типичные ситуации возможных коллизий можно легко и быстро объяснить, используя симуляцию средствами системы *Robotmaster*, но в рамках одной статьи, ввиду ограниченности её объема, подробно разобрать и проиллюстрировать их невозможно. Тем не менее, чтобы двинуться дальше, мы должны кратко определить виды коллизий, которые могут иметь место при движении инструмента. Это позволит лучше понять “механизм” и работу оптимизатора – самого важного нововведения в новой версии *Robotmaster*.

### Сингулярность

Управление манипулятором базируется на множестве математических вычислений, призванных обеспечить линейные движения за счет изменений совокупности угловых положений нескольких сочленений. В этой связи вполне вероятны ситуации, когда в некоей точке математическая функция, используемая в расчетах, стремится к бесконечности или имеет какие-либо иные неоднозначности поведения. Проблема сингулярности актуальна для всех роботов, причем оптимизация движений является заботой как встроенного софта собственных стоек управления, так и тех программных средств, с помощью которых подготавливаются УП.

Существует несколько типичных ситуаций, когда движение может проходить через положение, характеризующее сингулярностью:

- *Wrist Singularity* – сингулярность кисти (рис. 7) наблюдается в ситуации, когда оси вращения сочленений *J4* и *J6* полностью совпадают;

- *Base Singularity* – сингулярность положения сочленения по отношению к основанию возникает, когда полностью

совпадают оси вращения сочленений *J1* и *J6* (на рис. 8 для наглядности показано положение перед достижением проблемного состояния);

- *Elbow Singularity* – сингулярность локтя возникает в ситуации, когда манипулятор полностью вытянут. Когда локоть близок к такому состоянию, для обеспечения постоянной линейной скорости необходимо безгранично увеличивать скорость вращения сустава, что технически невозможно.

### Выход за пределы допустимых значений поворота суставов

Собственная математика роботов весьма непредсказуема при подборе комбинации поворотов суставов для обеспечения заданного движения. В этой связи вполне возможны ситуации, что при каком-то положении суставов будут достигнуты предельно допустимые значения поворота и манипулятор не сможет дотянуться до некоторых зон в рабочей области. Если же принудительно задать другую последовательность движений суставов, эти зоны становятся доступными.

### Недосыгаемость

Траектория предполагаемого движения инструмента проходит через такие участки зоны обработки, которые недоступны при любой комбинации положения суставов манипулятора.

### Переворот кисти

Такая коллизия возникает в том случае, когда при движении инструмента по заданной траектории появляется необходимость развернуть кисть, чтобы избежать прохождения через положение сингулярности. Результатом является чрезмерное ускорение движения сочленений *J4* и *J6*. Не допустить этого можно либо динамически меняя положение суставов, либо путем задания другого исходного положения кисти.

### Чрезмерное вращение

Эта ситуация возникает в том случае, когда на каком-то участке заданной траектории какое-либо сочленение, которое технически может выполнить несколько вращений, всё же достигло допустимого предела. Решить проблему можно теми же способами, что и в предыдущем случае.

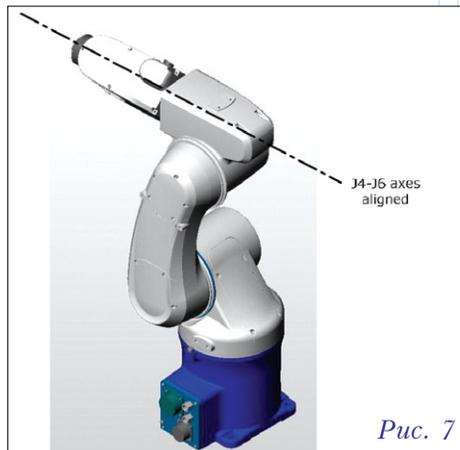


Рис. 7

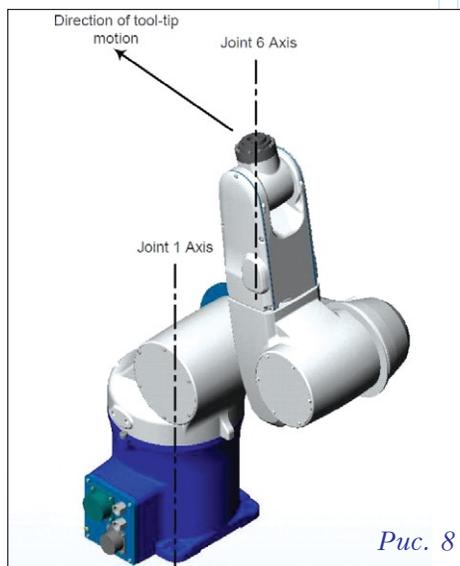


Рис. 8

## Выявление и устранение коллизий

Существует вероятность, что при движении по заданной технологом траектории какие-то части робота и навесного оборудования могут соударяться между собой, задевать обрабатываемую деталь или дополнительное оборудование, установленное в роботизированной ячейке. Возможность заблаговременного выявления таких ситуаций крайне важна для обеспечения сохранности оборудования и безопасности персонала.

Чтобы дать технологам инструмент для решения описанных выше проблем, разработчики добавили в новую версию системы *Robotmaster* крайне полезный **интерактивный оптимизатор**.

Допустим, что мы рассчитали траекторию инструмента, выбрали модель робота и шпиндель, определили местонахождение обрабатываемой детали в пространстве. Далее мы запускаем на компьютере симуляцию обработки по полученной УП.

Перед симуляцией система производит ряд вычислений и проверок. Если всё в порядке, то дальше можно детально анализировать в симуляторе поведение робота при отработке УП. Если же будут обнаружены указанные выше коллизии, то выдается сообщение о местонахождении проблемной области. После этого можно запустить симуляцию и обследовать эту область.

Фактически у пользователя есть два способа устранения коллизий:

- поняв суть проблемы, можно подкорректировать ряд параметров в установках, которые меняют положение суставов робота, и повторить симуляцию для новой УП;
- запустить оптимизатор и с его помощью визуально выявить, какие виды коллизий имеют место, после чего сразу устранить их прямо на экране.

Неудобство первого способа, основанного только на использовании средств симуляции, заключается в том, что траектория может содержать несколько коллизионных участков, так что для достижения позитивного результата придется “наступать на грабли” многократно. Кроме того, вследствие изменения параметров проблемные зоны могут перемещаться, так что процесс отладки может занять достаточно много времени. Здесь имеет место и субъективный аспект, с которым нельзя не считаться. Успешность управления параметрами робота во многом зависит от того, насколько тонко программист его чувствует, в какой мере понимает “метафизику” его работы...

Всё происходит гораздо проще, если использовать оптимизатор. В этом случае все проблемные зоны будут визуализированы сразу. При этом четко видно, как проводить изменения, да и делается это в интерактивном режиме.

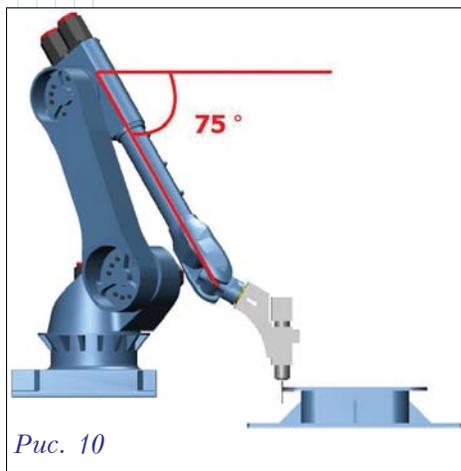


Рис. 10

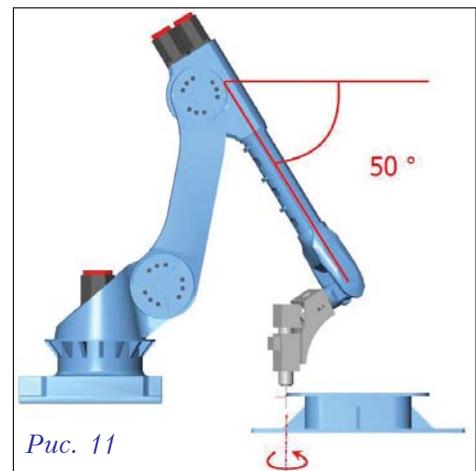


Рис. 11

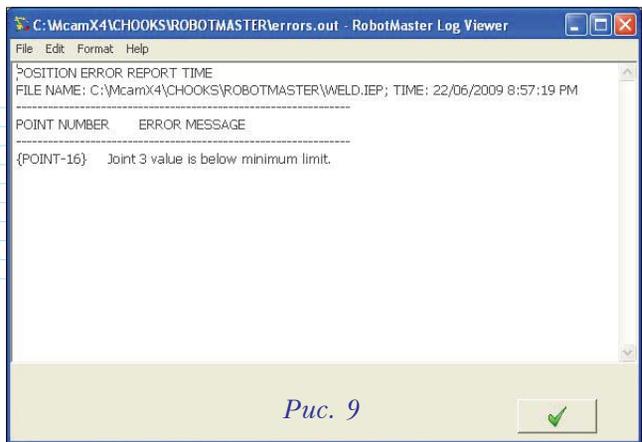


Рис. 9

Для большей наглядности рассмотрим всё тот же пример обработки, показанный на рис. 4, где нам необходимо просто пройти по контуру верхней плиты.

После запуска функции симуляции система выдает сообщение об обнаружении коллизии: “*Joint 3 value is below minimum limit*” (рис. 9). Это означает, что сустав *J3*, пытаясь обеспечить движение инструмента, выходит за допустимые для угла поворота пределы (рис. 10). Избежать данной проблемы мы можем, если развернем шпиндель вокруг оси инструмента примерно так, как показано на рис. 11.

Теперь посмотрим, чем нам может помочь в этой ситуации оптимизатор.

Красная линия в окне оптимизатора (рис. 12) условно показывает траекторию инструмента. Четко видно, что некоторая её часть проходит через проблемную зону, обозначенную желтым цветом – это означает выход за пределы допустимых значений поворота суставов.

Наши действия в данном случае крайне просты: мы прямо на этом экране графически изменяем траекторию – так, чтобы условная кривая обошла данную зону (рис. 13). Это напоминает редактирование параметрической кривой по точкам.

Чего мы этим добились? Фактически мы таким удобным способом просто повернули инструмент вокруг своей оси так, чтобы изменился угол сгиба сустава *J3* (рис. 11).

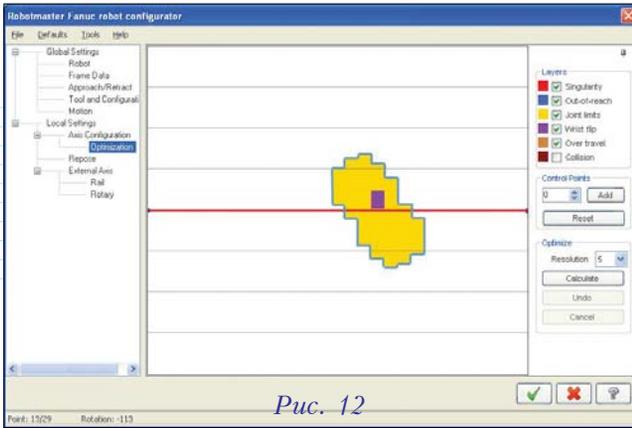


Рис. 12

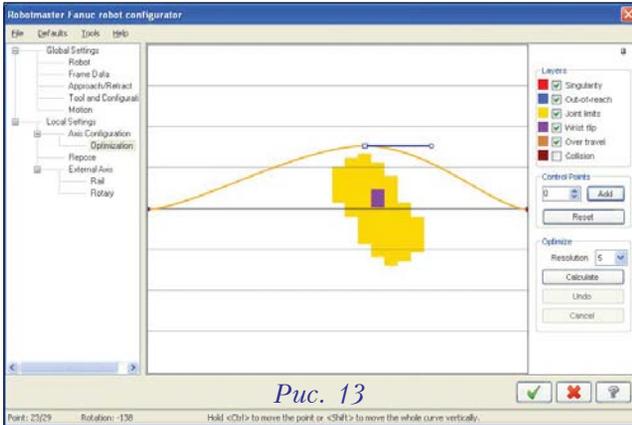


Рис. 13

Если обработка достаточно сложная, а позиция детали в пространстве по отношению к роботу четко определена, то возможна ситуация, когда траектория фактически уже начинается в зоне коллизии, не говоря уже о дальнейших проблемах. Причиной тому служит уже не раз описанная мною своеобразность внутренней математики самого робота. На данный момент эта математика не обладает достаточной интеллектуальностью для оптимизации собственных движений, для подбора положения суставов и динамического изменения их в процессе движения таким образом, чтобы была сформирована безущербная для оборудования траектория...

Тем не менее, возможность вывернуть суставы манипулятора так, чтобы обеспечить необходимое

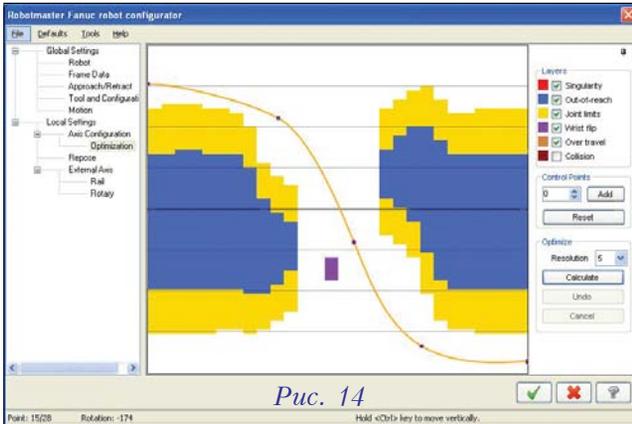


Рис. 14

движение инструмента, существует. Рассмотрим еще один пример (рис. 14).

Черная линия показывает предполагаемую траекторию без поворота вокруг инструмента. Отработать её невозможно ввиду того, что она начинается в зоне недосягаемости, а требуемые углы поворота суставов выходят за пределы допустимых значений. Также видно, что в зоне возможных траекторий имеется участок с переворотом кисти. Тем не менее, оптимизатор позволяет не только увидеть карту проблемных зон, но и добиться выполнимости траектории путем перемещения кривой в зоны уверенного доступа.

Если при оптимизации некой траектории оказывается, что левая или правая часть (или обе части) коллизионных зон полностью смыкаются с нижней или верхней частью окна, это означает, что манипулятор в принципе не способен отработать эту траекторию. Однако и в этом случае решение есть: надо итеративно изменить положение детали в пространстве по отношению к роботу. После переустановки можно тут же с помощью оптимизатора увидеть, имеются ли участки белой зоны (то есть физические возможные положения суставов), через которые можно провести инструмент от правой до левой стороны окна.

### Интерфейс оптимизатора

Чтобы немного познакомиться с интерфейсом, посмотрим на окно оптимизатора (рис. 14).

Слева находится вертикальная зона с деревом групп параметров управления *Robotmaster*.

В средней части экрана мы видим условную карту, на которой в виде разноцветных пятен отображаются зоны (участки траектории), в которых возможны коллизии. Белая зона показывает те области изменения положения и разворота инструмента вокруг оси, где нет коллизий. При активизации данного режима условная траектория обработки отображается горизонтальной линией посередине экрана. Эту линию можно перемещать вверх и вниз с помощью мышки, что означает поворот инструмента (точнее говоря, шпинделя) вокруг своей оси в положительном или отрицательном направлении соответственно. К примеру, при перемещении всей линии наверх задается поворот инструмента по всей траектории. Максимальный угол поворота определяется предельно допустимым значением для сочленения *J6*.

Как уже говорилось, путем редактирования поворота инструмента с помощью изменения кривой, обеспечивается возможность провести траекторию между островами возможных коллизий. Поскольку при изменении положения суставов возможны изменения на карте коллизий, после корректировки кривой необходима повторная проверка. Для повторения расчетов следует нажать кнопку *Calculate*. Если после завершения вычислений кривая остается в белой зоне, а её цвет становится зеленым, то наша траектория коллизий не имеет.

В верхней правой части окна выводится цветовая подсказка видов коллизий – *Layers*. Рядом

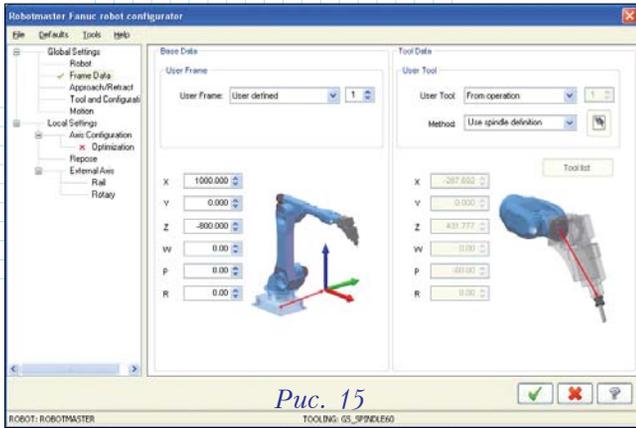


Рис. 15

с каждым цветным квадратиком вида коллизии находится поле, с помощью которого можно включать/выключать его отображение на карте. Зона *Control points* позволяет указать количество контрольных точек на кривой, которые будут добавлены для обеспечения возможности редактирования её формы. Клавиша *Reset* восстанавливает оригинальное положение траектории. Зона *Optimize* служит для запуска вычисления зоны коллизий (кнопка *Calculate*) и задания точности их расчета для суставов в угловых значениях (поле *Resolution*).

## Другие нововведения

### ✓ Индикация изменений

Для пушей наглядности в зоне групп параметров введена индикация с помощью условных значков (рис. 15). Допустим, в дереве параметров были проведены изменения в разделе *Frame data* – изменились координаты местоположения детали. Как мы видим, эта строка отмечена зеленой галочкой. Так как для прежнего сочетания параметров была проведена оптимизация движения, красный крестик указывает, что для новых значений необходимо запустить расчет заново.

### ✓ Изменения в среде симулятора:

- для достижения более “гладкого” и реалистического отображения движения был изменен алгоритм интерполяции перемещений между заданными точками;
- в окне перемещений теперь отображаются координаты положения инструмента и его ориентация в пространстве в соответствии с текущим кадром УП;
- введена возможность включать/выключать отображение траектории инструмента.

### ✓ Эффективность вычислений

Улучшенные алгоритмы *Robotmaster* значительно (до 10 раз) ускоряют вычисления, что дает существенную экономию времени, особенно при расчете длинных УП.

### ✓ 11 степеней свободы

Количество управляемых степеней свободы увеличилось до 11. Это достигнуто путем введения трех наружных линейно-управляемых направляющих (рис. 16) и возможности одновременно управлять агрегатом с двумя поворотными осями (рис. 17).

С помощью дополнительных осей теперь можно создавать, например, такие сложные конфигурации:

- манипулятор устанавливается на 3 дополнительные линейные направляющие, а деталь – на 2-осевом поворотном столе (расклад следующий: робот – 6 осей, направляющие – 3 оси, поворотный агрегат – 2; в сумме – 11 одновременно управляемых осей);

- манипулятор устанавливается неподвижно, а деталь – на столе, который обеспечивает её перемещение по двум или трем линейным осям (в сумме получается 8 или 9 управляемых осей);

- манипулятор, передвигающийся по трем линейным направляющим (9 осей), сам держит деталь и при обработке подводит её к неподвижно установленным инструментам.

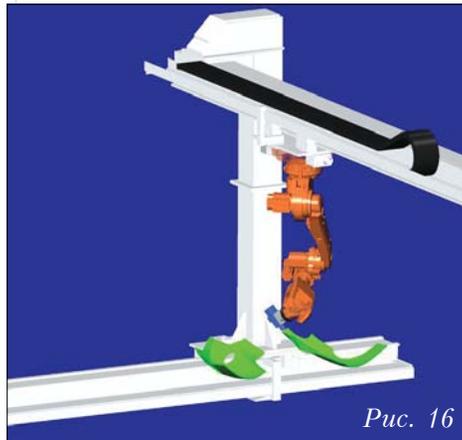


Рис. 16

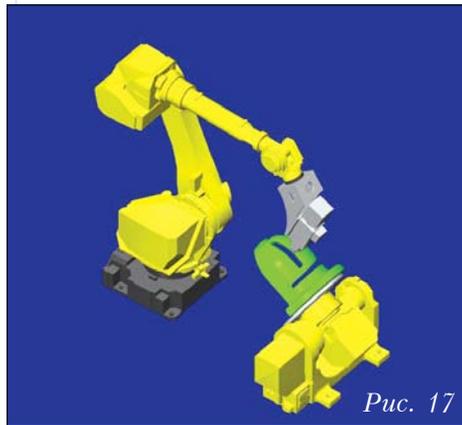


Рис. 17

## Калибровка

Так как *Robotmaster* использует для симуляции именно ту УП, по которой и будет вестись обработка, крайне важно, чтобы виртуальные составляющие роботизированной ячейки идеально соответствовали реальному оборудованию. Следовательно, после создания

реальной ячейки необходимо провести настройку всех частей виртуального робота и другой оснастки согласно данным калибровки. Надо отметить, такие средства тонкой настройки в новой версии расширились.

Хочу посоветовать пользователям не экономить на спичках и обязательно провести калибровку манипулятора и дополнительного оборудования при установке роботизированной системы. Особенно важно это для тех, кто занимается механообработкой. За счет увеличения точности изготавливаемых деталей эти вложения наверняка окупятся. ☞