



## Опыт разработки гибких роботизированных ячеек

Д.Г. Мирошин (ФГАОУ ВО «УрФУ»), Р.Е. Тарагара (ПАО «ВСМПО-Ависма»)

На машиностроительных предприятиях Уральского федерального округа для реализации механической обработки деталей типа «тело вращения» реализована и внедрена в производство гибкая роботизированная ячейка. Приведен состав оборудования гибкой роботизированной ячейки. Рассмотрен принцип работы системы управления ячейкой и системы обеспечения безопасности при автоматической работе гибкой роботизированной ячейки. Приводится информация об экономической эффективности эксплуатации гибкой роботизированной ячейки в течение 2 лет.

*Ключевые слова:* гибкая роботизированная ячейка, система управления, системы обеспечения безопасности, робот, моделирование, экономическая эффективность.

Четвертая промышленная революция (Industry 4.0) подразумевает переход на автоматизированное цифровое производство, предусматривающее частичное или полное исключение человека из производственных и бизнес-процессов. Примером реализации цифрового производства является разработка и ввод в эксплуатацию гибких производственных систем, ориентированных мелко- и среднесерийный выпуск продукции [1].

На машиностроительных предприятиях Уральского федерального округа, относящихся к военно-промышленному комплексу, широкое распространение получило среднесерийное производство типовых деталей для военной техники в рамках государственного оборонного заказа. Для организации выпуска этих деталей

была реализована и внедрена в производство гибкая роботизированная ячейка, ориентированная на механическую обработку деталей типа «тело вращения». Ячейка включает современные высокопроизводительные обрабатывающие центры, промышленного робота, пункт контроля, автоматизированный склад заготовок, деталей и резервных паллет. Для управления гибкой роботизированной ячейкой разработана двухуровневая система управления, а также система обеспечения безопасности эксплуатации ячейки.

Использование гибкой роботизированной ячейки позволяет быстро и экономично переключаться на выпуск новых деталей. Ячейка способна эффективно работать при различных объемах производства, продолжать обработку заданного множества деталей при отказах отдельных модулей.

Для реализации гибкой производственной ячейки выбран линейный вариант компоновки и разработана схема компоновки с привязкой к площади цеха предприятия-заказчика роботизированной ячейки. Модель структуры гибкой роботизированной ячейки приведена на рис. 1.

Гибкая роботизированная ячейка включает следующие структурные элементы:

1 - пункт контроля, оснащенный, координатно-измерительной машиной MitutoyoCrysta-Apex V574;

2 и 4 – высокопроизводительные обрабатывающие центры GOODWAY GLS-2000

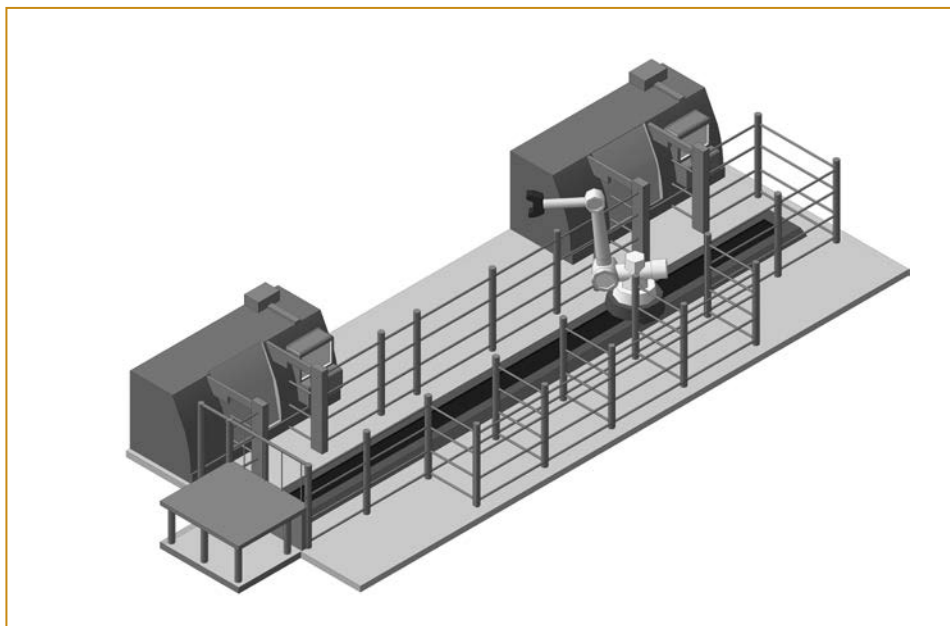


Рис. 1. Трехмерная модель разработанной гибкой роботизированной ячейки

(ОЦ 1 и ОЦ 2 в системе управления ячейкой), которые оснащены программируемой стойкой FANUC с системой управления Fanuc Oi-TF;

3 – промышленный робот Fanuc R-2000iC/165F, расположенный на одноосевом линейном модуле GudelTMF-3 для перемещения робота вдоль ячейки;

5 и 7 – блочные накопители, предназначенные для размещения паллет с готовыми деталями разных типов (число блоков может быть увеличено);

6 и 8 – блочные накопители, предназначенные для размещения заготовок деталей разных типов, установленных на паллеты (число блоков также может быть увеличено);

9 – блок хранения резервных паллет.

Промышленный шестиосевой робот Fanuc R-2000iC/165F обладает грузоподъемностью 165 кг, что позволяет ему удерживать как сдвоенный захват, так и массу загруженной паллеты и массу заготовки, также он имеет зону досягаемости 2655 мм. Робот оснащен контроллером Fanuc R-30iB, собственное программное обеспечение которого надежно защищено от вирусов и возникновения нестабильностей, также контроллер способен реализовывать многие интеллектуальные функции, включая контроль столкновений и работу системы технического зрения, программное обеспечение контроллера и система управления роботом хорошо стыкуется с системой числового программного управления и обрабатываемыми центрами Fanuc Oi-TF. Большинство промышленных роботов, выпускаемых отечественными производителями, не обладают требуемыми техническими характеристиками или функциональными возможностями, а специфика обрабатываемых деталей позволяет применять доступное оборудование зарубежных производителей, что было отражено в техническом задании заказчика. Другие зарубежные производители промышленной робототехники предлагают роботы, отличающиеся аналогичными техническими характеристиками, однако экономический анализ показал, что стоимость эксплуатации робота Fanuc R-2000iC/165F будет ниже аналогов. Кроме того, наличие в шаговой доступности центра технического обслуживания робототехники Fanuc также определило выбор промышленного робота.

Блочные накопители представляют собой стеллажи, на которых размещаются по четыре паллеты с заготовками или готовыми деталями, а блок хранения резервных паллет аналогичен блоку для размещения паллет с заготовками.

Перед началом работы гибкой роботизированной ячейки необходимо загрузить блочные накопители для заготовок подготовленными паллетами с заготовками, выбрать управляющую программу, предназначенную для обрабатываемой группы деталей, и режим работы системы (автоматический, тестовый, наладочный).

При запуске программы работы гибкой роботизированной ячейки контроллер системы управления ячейкой опрашивает состояние ячейки и определяет число паллет, загруженных заготовок, наличие свободных мест в накопителях, загруженность ОЦ1 и ОЦ2 и т.д.

Промышленный робот Fanuc R-2000iC/165F перемещается к блочному накопителю, предназначенному для хранения паллет с заготовками, а контроллер системы управления ячейкой опрашивает датчики и контроллер робота для подтверждения его положения. Также контроллер системы управления ячейкой ведет опрос активных паллет, то есть тех паллет, на которых имеются заготовки и с которыми работает в данный момент промышленный робот. Ведется учет не только паллет, но и самих заготовок и их положения на паллете. Контроллер системы управления передает роботу информацию, с какой паллеты и какую заготовку необходимо взять.

Контроллер системы управления ячейкой опрашивает обрабатываемые центры GOODWAY GLS-2000 на готовность загрузки, при этом зона безопасности ОЦ разблокирована и позволяет вести установку заготовки. При наличии положительного сигнала о готовности загрузки с контроллера системы управления ячейкой на контроллер робота поступает команда о перемещении робота к свободному обрабатываемому центру. Робот перемещается с помощью одноосевого линейного модуля к ОЦ, а затем захват робота перемещается в зону обработки и устанавливает деталь на ОЦ. Контроллер системы управления ячейкой отслеживает зажим заготовки, получая сигналы с бесконтактных датчиков и реле давления. После зажима заготовки захват робота выводится из зоны обработки. Зона обработки закрывается защитной дверцей и запускается управляющая программа обработки заготовки. Для загрузки заготовок деталей другого типа применяется аналогичный алгоритм работы системы.

При необходимости переустановки заготовки на текущем ОЦ или на новый ОЦ на контроллер системы управления ячейкой за 30 с до окончания обработки на текущем установе поступает команда о готовности к переустановке, которая передается на контроллер робота. При отсутствии других команд робот перемещается к ОЦ, исключая его простаивание. Контроллер системы управления ячейкой также опрашивает датчики и контроллер робота для подтверждения его положения. Затем робот перемещается к ОЦ, а захват робота перемещается в зону обработки, после чего на робот поступает команда захвата детали, а на ОЦ – команда открыть зажим. Робот разворачивает деталь и устанавливает в необходимых координатах, после чего на обрабатывающий центр поступает команда закрыть зажим. После установки заготовки контроллер системы управления ячейкой передает на контроллер робота команду - вывести захват робота из зоны обработки, а робота вывести в исходное положение.

Аналогично срабатывает система управления ячейкой и при смене заготовки. Контроллер системы управления ячейкой опрашивает ОЦ на наличие детали и готовность к разгрузке. При готовности ОЦ к разгрузке отключается блокировка опасной зоны, на контроллер робота поступает команда о перемещении захвата в зону обработки станка, и происходит смена заготовки. Далее робот в зависимости от полученных команд может транспортировать деталь в блочный накопитель, или по инициативе оператора деталь может быть вызвана на контроль.



Рис. 2. Главный экран пульта управления

Работа системы при вызове детали на контроль по требованию оператора заключается в том, что робот по команде оператора транспортирует деталь в пункт контроля. При этом контроллер системы управления ячейкой опрашивает датчики положения и контроллер робота для подтверждения его положения. Робот транспортирует деталь в приемный блок пункта контроля. При перемещении робота от приемного блока пункта контроля система безопасности деблокирует люк, и оператор получает возможность его открыть и забрать деталь для контроля на координатно-измерительной машине. Далее осуществляется контроль детали. Если деталь годная, то оператор создает запрос в систему управления ячейкой для разгрузки пункта контроля, при этом робот перемещается к пункту контроля, забирает деталь и транспортирует ее в блочный накопитель деталей. Если деталь бракованная, то она снимается с гибкой производственной ячейки.

При работе робота с паллетами он перемещается к блоку заготовок, при этом система управления ячейкой также опрашивает датчики и контроллер робота для подтверждения его положения. По команде системы робот должен взять верхнюю освободившуюся паллету и переместить ее в блок деталей или в блок резервных паллет, предназначенный для обеспечения бесперебойной работы системы. При этом система управления ячейкой подает на контроллер робота команду взять паллету, после чего робот поворачивается и перемещается к блоку резервных паллет и выгружает ее на место резервной паллеты. Когда активная паллета блока деталей заполняется (при том, что

паллета из блока заготовок освободилась раньше и была отправлена в резерв), роботу поступает команда о необходимости взять паллету из блока резервных паллет.

Для гибкой роботизированной ячейки разработана система визуализированного управления. Управление гибкой роботизированной ячейкой возможно осуществлять на двух уровнях. Первый уровень содержит локальные средства управления, контроля и диагностирования функциональных модулей гибкой роботизированной ячейки и является уровнем датчиков и исполнительных механизмов, которые устанавливаются непосредственно на технологических объектах. На втором уровне синхронизируется работа компонентов гибкой роботизированной ячейкой, решаются задачи группового управления оборудованием. Осуществляется сбор информации, поступающей с нижнего уровня, ее обработка и хранение; выработка управляющих сигналов на основе анализа информации; передача информации о производственном участке на более высокий уровень.

Для решения задач осуществления уровневого управления гибкой роботизированной ячейкой, визуализации процесса оперативного управления используется SCADA-система SIMATIC WinCC [2]. Выбор SCADA-системы SIMATIC WinCC обусловлен тем, что предприятие-заказчик при создании систем управления ориентируется на использование технологий компании Siemens, что было отражено в техническом задании и имеет экономическую причину. Кроме того, SCADA-система SIMATIC WinCC позволяет обеспечить требуемый уровень визуализации процесса работы ячейки, оперативное управление. Важно, что SIMATIC WinCC предусматривает возможность по сети Profinet подключать к контроллеру системы управления любое устройство (контроллеры робота, станков), в том числе контроллер безопасности системы ReerMosaic, что позволяет управлять работой системы безопасности ячейки непосредственно с пульта управления SIMATIC HMI. Такое решение наиболее полно удовлетворяет как потребностям предприятия, так и техническому заданию.

Первый уровень системы управления гибкой автоматизированной ячейкой предназначен для управления непосредственно обрабатывающими центрами и промышленным роботом. На первом уровне осуществляется управление каждым обрабатывающим центром GOODWAY GLS-2000, оснащенным собственной системой ЧПУ FanucOi-TF, которая управляет всеми перемещениями узлов и технологическими функциями обрабатывающего центра.

Управление роботом Fanuc R-2000iC/165F, установленным на базе одноосевого линейного модуля GudelTMF-3, осуществляется собственной системой управления Fanuc, которая отвечает за перемещения заготовок, паллет и функциями загрузки/выгрузки станков.

Рассмотрим структуру и принцип работы системы управления скомпонованной гибкой роботизированной ячейкой, разработанной в Simatic WinCC. На главном экране (рис. 2) отображаются пункты меню, доступные оператору:

- «Ячейка» – подробно отображает наглядное состояние роботизированной ячейки: информацию об ОЦ, роботе, защитном ограждении, пункте и т.д.;

- «Паллеты» ориентирует оператора в состоянии паллет с заготовками и готовыми деталями, числе паллет и деталей по блокам;

- «Дополнительная информация» служит для отображения такта выпуска готовых деталей, времени работы робота и сервисной информации;

- «Перечень деталей» предназначен для выбора оператором типа изделия и параметров выбранного типа изделия. При запуске автоматического цикла с пульта управления робот всегда начинает работать по программе, которая была активирована;

- «Наладка» - функция доступна только в ручном режиме работы робота (тестовые режимы T1 и T2) и позволяет полностью изменять состояние ячейки, поэтому ориентирована только на опытных пользователей; При включении автоматического режима работы на контроллере робота, режим «Наладка» сбрасывается.

- «Симуляция» предназначен для активации режима компьютерной симуляции работы гибкой автоматизированной ячейки по разработанной управляющей программе;

- Log off предназначен для сброса режима наладки, а также сброса пароля для наладки и симуляции.

На главном экране также представлены иконки режимов работы робота: «AUTO», «T1» и «T2», которые соответствуют установленным режимам работы контроллера робота.

Режим Auto (автоматический) предназначен для использования при промышленной эксплуатации робота. При этом работает защита от возможного взаимодействия робота и человека. Для обеспечения безопасной работы ячейки контроллер робота оборудован опцией Distributed Control System (DCS), включающей в себя пункт DCS Cartesian Position Check (программирование опасных/безопасных зон) [3]. С помощью сигналов безопасности SPI (входы) и SPO (выходы) на дополнительно установленной плате A05B-2600-J131 возможно включение/отключение красных зон робота. При попадании элементов робота в красную зону и отсутствии разрешающего сигнала SPI происходит аварийный останов робота.

Двухканальные сигналы безопасности SPI формируются замками безопасности Omron (блоки 1, 2, 3, 4, люк пункта контроля) и модульным контроллером безопасности ReerMosaic (зоны станков).

«Красные» зоны робота: блоки паллет при открывании двери соответствующего блока, зона пункта контроля при открытом люке, зоны станков при отсутствии сигнала открытых откатных ворот. Включенные «красные» зоны ячейки отображаются на экране красной пунктирной линией.

Режим T1 (тестовый режим 1) предназначен для управления роботом в ручном режиме на малой скорости, ввода координат положения с пульта обучения, проверки траектории движения робота на малой скорости и проверки

управляющей программы. Скорость перемещения робота и захвата  $\leq 250$  мм/с. В режиме T1 невозможно проверить фактическую траекторию перемещения робота и время цикла, потому что рабочая скорость ограничена. Режим T1 можно зафиксировать, если извлечь ключ из пульта управления гибкой роботизированной ячейкой.

Режим T2 (тестовый режим 2) предназначен для окончательной проверки созданной программы путем прогона робота на рабочей скорости. Режим T2 функционирует и при ручном управлении, однако в этом случае скорость перемещения робота и захвата также ограничены и  $\leq 250$  мм/с. Режим T2 также можно зафиксировать, если извлечь ключ из пульта управления гибкой роботизированной ячейкой.

Таким образом, в ходе разработки была спроектирована гибкая роботизированная ячейка для групповой обработки деталей типа «тело вращения», а также создана двухуровневая структура системы управления гибкой роботизированной ячейкой, а также человеко-машинный интерфейс в SCADA-системе SIMATIC WinCC. Предусмотрена возможность моделирования работы технологического процесса роботизированной ячейки.

Разработанная гибкая роботизированная ячейка для групповой обработки деталей типа «тело вращения» и система управления гибкой роботизированной ячейкой нашли применение на предприятии Уральского федерального округа и позволила реализовать процесс управления механической обработкой и контролем деталей типа «Втулка». Общие затраты на создание гибкой роботизированной ячейки составили 42,736 млн. руб., в том числе на разработку системы управления - 1,308 млн. руб. Годовой экономический эффект от использования разработки за период 2018-2020 гг. составлял в среднем 4,8 млн. руб. Разработанная и внедренная в производство гибкая роботизированная ячейка позволила обеспечить бесперебойное производство деталей, снижение уровня брака практически до нулевого, быструю переналадку на новый тип деталей, высокую производительность процесса обработки деталей и высокий уровень цифровизации производства в рамках концепции индустрии 4.0.

#### Список литературы

1. Сердюк А.И., Сергеев А.И., Корнипаев М.А., Проскурин Д.А. Формализованное описание работы гибких производственных систем при создании систем компьютерного моделирования // СТИН. 2016. № 7. С. 12-18.
2. Кондрашкин А.А., Серов А.Ю., Соловьев С.Ю. Создание современных научно-экспериментальных стендов и комплексов экспериментальной отработки инновационных технологий на базе платформы SIMATIC WinCC Open Architecture // Автоматизация в промышленности. 2020. №10. С.19-25.
3. Шеди Я. PLC vs DCS. Оптимальный выбор для управления производственным процессом // Control Engineering. 2016. № 3 (63). С. 28-30.

*Мирошин Дмитрий Григорьевич - доцент кафедры электронного машиностроения ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», Тарагара Роман Евгеньевич - инженер по АСУТП ПАО «ВСМПО-Ависма». E-mail: mirdcom@rambler.ru, alexa10com@yandex.ru*