

Согласование движений литьевой машины и робота позволяет сократить время цикла, поскольку рабочая рука робота с захватом может входить в зону формы, когда та еще не полностью раскрыта. Система-помощник iQ motion control, входящая в стандартное оснащение всех новых линейных роботов ENGEL viper с октября 2021 г., обеспечивает безопасный ранний пуск робота в сочетании с полностью автоматизированной оптимизацией траектории его рабочей руки.

Ранний вход робота в зону литьевой формы для извлечения деталей во время ее открывания позволяет значительно сократить время цикла литья



## Преимущества согласованной работы робота и литьевой машины

Д. Лидуэр, М. Оберхербер, д-р, ENGEL Austria GmbH (г. Швертберг, Австрия)

Плавность и точность движений любого объекта достигается в том числе и за счет слаженной работы всех его подвижных элементов. У живых существ, например, движениями конечностей управляет мозг, а все перемещения роботов или подвижных элементов автоматизированных машин можно согласовать лишь настолько, насколько человек сможет запрограммировать это с помощью системы управления.

В любой производственной ячейке, предназначенной для литья под давлением, есть много разных движущихся узлов и деталей, от некоторых из которых напрямую зависит время цикла литья. К ним относятся движения входа и выхода рабочей руки робота (в дальнейшем – просто робота) для извлечения изделий из литьевой формы, а также время раскрытия и закрытия самой формы. И обычно много времени внутри цикла уходит на ожидание полного раскрытия литьевой формы, после чего робот может зайти в зону формы для съема пластиковых литьевых деталей.

Поставляя клиентам производственные ячейки «из одних рук», компания ENGEL всегда уделяла

внимание согласованной работе литьевой машины, системы автоматизации и периферийного оборудования, обеспечивая их взаимодействие с помощью единой системы управления и на основе одной коммуникационной платформы и общей базы данных. Такой подход обеспечивает наилучшие условия для минимизации времени цикла.

Но поскольку производственная ячейка сама по себе не может обеспечить взаимосвязанные параллельные движения ее компонентов, оператор должен сам настроить эти движения через центральную панель или мобильный ручной пульт управления. Ему необходимо запрограммировать или, иначе, «обучить» робота, т.е. задать для него путь, скорость

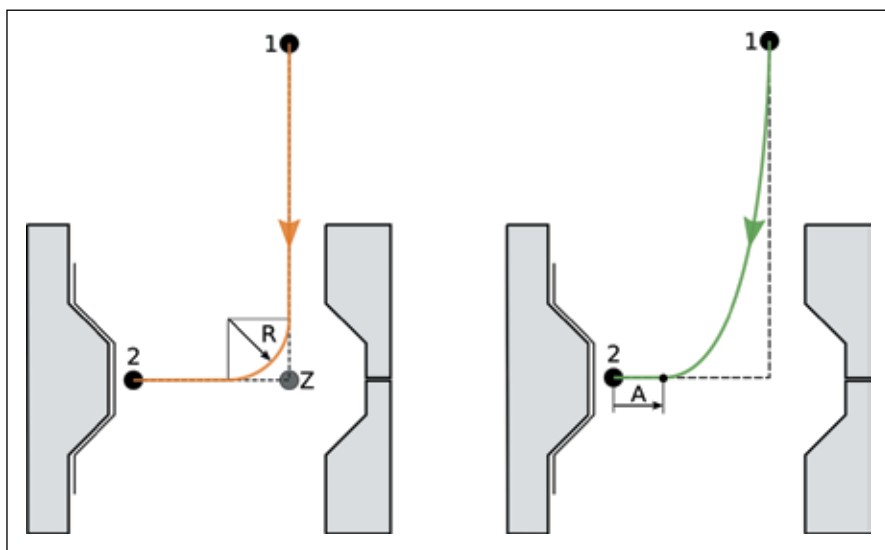


Рис. 1. Система-помощник iQ motion control самостоятельно рассчитывает и оптимизирует траекторию входа робота в зону литьевой формы (справа), тогда как ранее траектория складывалась из последовательных линейных путей перемещения отдельных осей робота с некоторым ее скруглением радиуса R (слева). Другие пояснения – в тексте статьи (все рисунки: ENGEL)

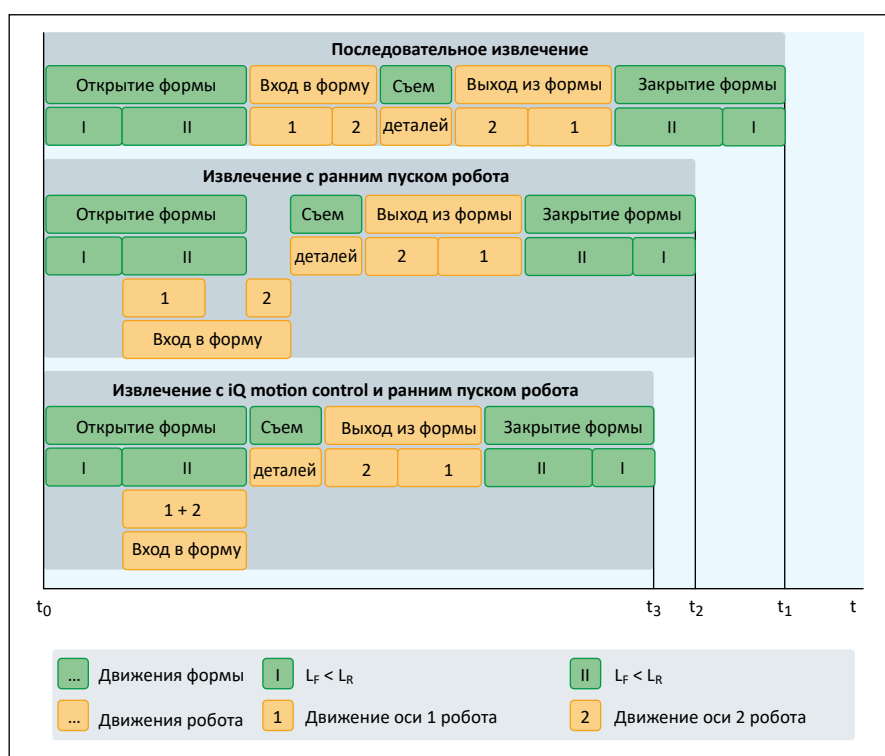
и ускорение движения при входе в зону формы. Достоинство системы-помощника iQ motion control заключается в том, что она не только автоматически оптимизирует траекторию движения робота, но и упрощает процесс его программирования до нескольких кликов на дисплее панели или пульта управления.

### Оптимизация траектории перемещения робота для сокращения времени цикла

Линейные роботы обычно перемещаются из точки в точку, которые предварительно задаются при их программировании. Для этого оператор производственной ячейки определяет необходимую траекторию движения каждого робота и вручную задает ее нужным количеством точек в соответствующей программе (рис. 1).

На многих предприятиях до сих пор все еще используется последовательное извлечение детали из литейной формы (или деталей – в случае многогнездной формы), когда робот сначала ожидает ее полного раскрытия, и только затем входит в зону формы для непосредственного съема детали (рис. 2). Понятно, что в этом случае время цикла литья будет максимальным. Но если робот интегрирован в систему управления машиной, как это осуществляется в производственных ячейках от ENGEL, то он напрямую, в режиме реального времени, получает доступ к машинным данным, таким как ход открывания формы и позиция подвижной плиты, и может начать движение в зону формы, когда та еще не полностью открыта. Такой режим работы робота называется его «ранним пуском». В этом случае время цикла сокращается за счет частичной параллелизации движений робота и подвижной полуформы.

Еще больше время цикла сокращается, если в систему iQ motion control интегрирована функция раннего пуска робота. В этом случае на экране пульта управления, появляется предложение о позиции раннего пуска, основанное на параметрах настройки робота и машины. Это позволяет даже малоопытным операторам быстро и безошибочно использовать преимущества iQ motion control. В идеале вход робота в зону

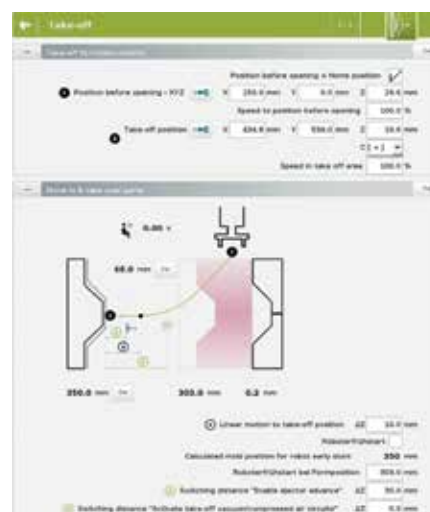


**Рис. 2.** Извлечение изделий из формы с использованием системы-помощника iQ motion control позволяет – за счет параллельных движений робота и формы – существенно сократить время цикла  $t$  по сравнению с другими вариантами извлечения:  $L_F$  – позиция формы;  $L_R$  – позиция раннего пуска робота

формы должен укладываться по времени в стадию открывания формы и потому не удлиняет цикл литья.

Система-помощник iQ motion control, которой оснащены линейные роботы серии ENGEL viper уже в их стандартном исполнении, самостоятельно рассчитывает и оптимизирует траекторию входа робота в зону литейной формы. Таким образом, оператору необходимо установить в программе значительно меньшее количество параметров и позиций робота, что существенно сокращает время его настройки и – что самое главное – время цикла литья под давлением (см. рис. 2).

Система iQ motion control является новейшим программным продуктом в пакете «умных» систем-помощников ENGEL. Максимальная реализация преимуществ подобных систем достигается при возможно более простой для оператора работе с ними. Поэтому в программном обеспечении iQ motion control для настройки процесса извлечения деталей из формы также имеется интуитивно понятная маска-шаблон со всеми доступными опциями, выводимая на экран пульта системы управления (рис. 3).



**Рис. 3.** Интуитивно понятная поддержка оператора со стороны «умных» систем-помощников на экране пульта управления делает возможной быструю настройку процессов литья под давлением (в данном случае – извлечения деталей из формы)

### Три шага на пути к оптимальной траектории

Перед тем как спланировать движение робота в зону литейной формы, чтобы он переместился к позиции извлечения детали именно тогда, когда подвижная полуформа достигнет позиции полного раскрытия, необходимо

задаться определенными граничными условиями. Во-первых, это параметры, задаваемые пользователем, такие как позиции робота и формы, а также линейные расстояния. А во-вторых, это ограничения по скорости движения осей робота, их максимальному ускорению и другим параметрам, известные из документации на используемый робот.

В дальнейшем необходимо определить и запрограммировать оптимальную траекторию движения робота в зону формы. Для этого требуется сделать три следующих шага, которые системой iQ motion control выполняются автоматически.

**1. Определение оптимального времени  $t_{\text{Fopt}}$  перемещения робота по траектории, в конце которой робот и форма одновременно достигают своих конечных позиций.** В этих целях на основе последнего цикла литья измеряется промежуток времени от достижения роботом заданной позиции при его раннем пуске до полного раскрытия формы. Величина этого промежутка времени как раз и равна значению  $t_{\text{Fopt}}$ .

**2. Расчет кратчайшей траектории движения робота,** который осуществляется с учетом специфичных кинематических ограничений по каждой его оси (максимальная скорость, максимальное ускорение и т.д.) и линейных расстояний, определяемых оператором. При этом время  $t_{\text{Ropt}}$  движения робота по этой траектории, которое может быть достигнуто с учетом заданных граничных условий, будет самым крат-

ким. Если функция раннего пуска робота отключена, то в дальнейшем используется эта найденная траектория, и робот управляет движением входа в зону формы с учетом указанных ограничений.

**3. Оптимизация траектории.** При включенной функции раннего пуска необходимо убедиться, что значение  $t_{\text{Ropt}}$  больше или равно найденному ранее значению  $t_{\text{Fopt}}$ . Если это не так и значение  $t_{\text{Ropt}}$  меньше, чем  $t_{\text{Fopt}}$ , то возникает опасность столкновения робота с формой. Чтобы избежать этого, выполняется оптимизация траектории для выполнения условия

$$t_{\text{Ropt}} > t_{\text{Fopt}},$$

а в лучшем случае:

$$t_{\text{Ropt}} = t_{\text{Fopt}}.$$

Предварительно выполняется масштабирование или, иначе, нормирование параметров движения робота – его позиции, скорости и ускорения – в зависимости от времени извлечения деталей, заключающееся в переходе от их абсолютных значений к относительным безразмерным путем деления абсолютных значений на соответствующие максимальные значения параметров (рис. 4).

Здесь также следует заметить, что у всех линейных роботов в той или иной степени – в зависимости от их типоразмера – наблюдаются вибрации рабочей руки при резких изменениях скорости перемещения осей. Для гашения вибраций и сведения к минимуму этого нежелательного явления, удлиняющего цикл литья, в пакете предложе-

ний ENGEL имеется специальная система-помощник – iQ vibration control. Система iQ motion control делает еще один шаг вперед в этом направлении, предотвращая вибрации за счет плавного изменения скорости и ускорения осей робота (см. рис. 4).

Следует добавить, что система iQ motion control самостоятельно компенсирует возможные отклонения параметров перемещения робота из-за колебаний температуры окружающей среды и других внешних факторов.

### Многоуровневое обеспечение безопасности благодаря обмену данными

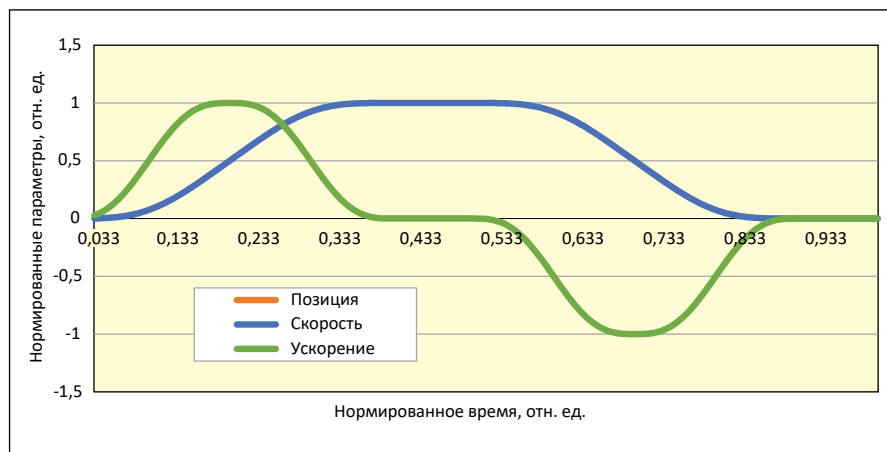
Чтобы с максимальной надежностью исключить столкновение между роботом и подвижной полуформой, несмотря на ранний вход робота в зону формы, в системе iQ motion control предусмотрен двухступенчатый принцип защиты.

Первая ступень защиты заранее корректирует движение робота при обнаруженных отклонениях от запланированного движения подвижной полуформы, а вторая гарантирует, что в случае непредвиденной ситуации или аварийной остановки машины робот сможет затормозить еще до контакта с формой.

Поскольку робот «знает» точную позицию подвижной крепежной плиты, он своевременно останавливается при угрозе столкновения с формой, что предотвращает опасность повреждения формы и захвата робота. Все это становится возможным благодаря прямому обмену данными в рамках совместного управления машиной и роботом.

### Преимущества системы iQ motion control

Наибольший положительный эффект от использования системы iQ motion control достигается при сравнительно большом отношении времени полного раскрытия формы к общему времени цикла литья, т.е. при коротких циклах литья деталей с глубокой полостью – корпусных элементов или емкостей, которые изготавливаются с помощью протяженных пуансонов или формообразующих стержней, требующих большого



**Рис. 4.** Нормированные параметры движения робота в зависимости от нормированного времени извлечения деталей. Плавное изменение скорости, ускорения и замедления перемещения робота с помощью системы iQ motion control позволяет избежать возникновения вибрации его осей и еще более сократить время цикла

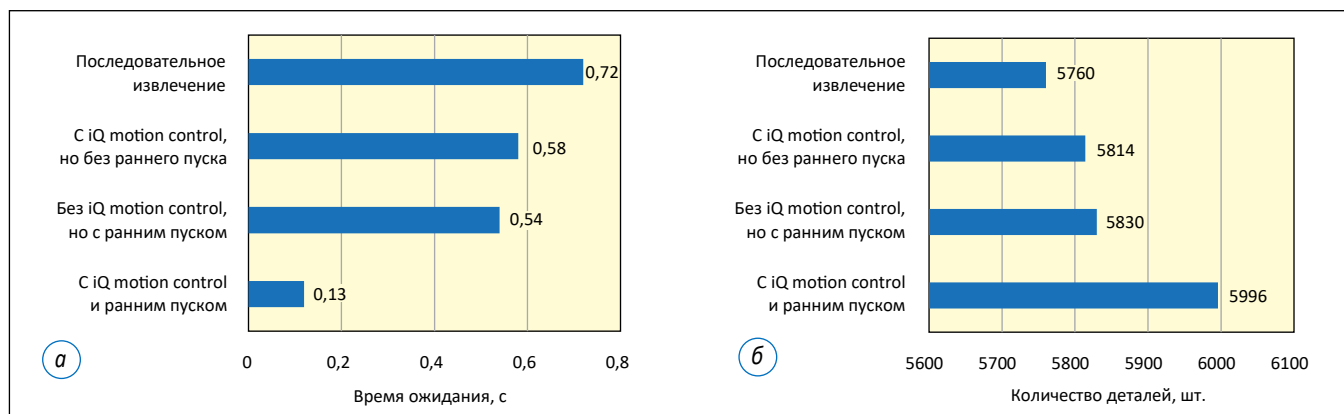


Рис. 5. Время ожидания (а) и количество деталей, изготовленных за сутки (б), при различных вариантах извлечения детали из формы

Основные функции системы iQ motion control и эффекты, достигаемые при ее использовании

| Функция                                                                                      | Следствие                                                                                                                                              | Эффект                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Оптимизация траектории перемещения линейного робота                                          | Минимизация количества параметров и позиций, необходимых для программирования перемещения робота по оптимальной траектории                             | Экономия времени, затрачиваемого на программирование робота, и сокращение времени цикла                                                            |
| Доступ робота к машинным данным благодаря его интеграции в систему управления машины         | Согласованность движений робота и машины позволяет в идеальном случае одновременно завершить раскрытие формы и перемещение робота к месту съема детали | Максимальное сокращение времени цикла литья благодаря сведению к нулю времени ожидания формы или робота                                            |
| Двухступенчатый принцип защиты от столкновения робота с формой                               | Своевременная остановка робота при опасности столкновения, поскольку он «знает» точную позицию подвижной крепежной плиты                               | Повышенная безопасность машины и робота, предотвращение их повреждения из-за возможного столкновения и снижение затрат времени и средств на ремонт |
| Совместное управление данными машины и робота                                                | Переход на новую форму при смене вида продукции требует лишь однократной загрузки в программу iQ motion control новых данных по деталям                | Предотвращение ошибок и экономия времени при смене формы                                                                                           |
| Наглядное представление маски настройки с графической поддержкой на экране пульта управления | Оператор должен установить в программе iQ motion control лишь несколько параметров и их значений                                                       | Сокращение времени программирования робота благодаря интуитивно понятной настройке                                                                 |

хода открывания формы и, соответственно, затрачиваемого на это времени.

Чтобы на практике подтвердить значительный потенциал сокращения времени цикла с помощью системы iQ motion control, специалистами ENGEL был проведен эксперимент с использованием линейного робота viper 12. Общее время цикла составляло 15 с при ходе открывания формы 490 мм и максимальной скорости подвижной крепежной плиты 1465 мм/с. Ранний пуск робота происходил, когда подвижная полуформа находилась в позиции 303 мм в процессе ее открывания. На рис. 5 (а) показано время ожидания  $t_w$  при различных вариантах извлечения детали. Под  $t_w$  понимают продолжительность паузы между завершением раскрытия формы и окончанием входа захвата робота в зону формы для съема детали, по-

этому величина  $t_w$  непосредственно входит во время цикла. Как видно, при совместном использовании системы iQ motion control и раннего пуска робота удалось сократить значение  $t_w$  с 0,72 с при последовательном извлечении детали (без этой системы и без раннего пуска робота) до 0,13 с. В результате такое сокращение времени цикла, составившее 0,59 с, позволяет при предполагаемой непрерывной работе производственной ячейки в течение 24 ч в сутки изготовить на 236 деталей больше, чем при последовательном извлечении детали из формы (рис. 5, б).

В заключение необходимо отметить, что система iQ motion control автоматически адаптируется к любому типу литейной машины и способу извлечения деталей и их укладки – будь то с вертикальным входом робота в зону формы на ко-

лонных машинах или с горизонтальным на бесколонных, с укладкой на ленточный транспортер со стороны оператора, противоположной стороны или даже с торца литейной машины.

Предполагается, что вслед за iQ motion control будут разработаны новые системы-помощники, обеспечивающие еще более тесное взаимодействие робота и литейной машины.

### Coordinated Operation of a Robot and an Injection Molding Machine

D. Lidauer, M. Oberherber

*In many applications cycle time is reduced in case sequences of an injection molding machine and a robot are coordinated. The iQ motion control software by Engel allows reliable early start combined with automatically optimized motion planning. Since October 2021 this assistance system has become part of the ENGEL standard equipment of all its new viper linear robots. ■*