

УДК 621.757

РАЗРАБОТКА ХАРАКТЕРИСТИК АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ СБОРКИ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Михаил Юрьевич Шариков⁽¹⁾, Георгий Юрьевич Горбатенков⁽²⁾

Студент 5 курса^{(1),(2)},

кафедра «Технология машиностроения»

Московский государственный технический университет (МAMИ)

Научный руководитель: И.В. Бухтеева,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»

Современное сборочное производство проявляет особое внимание к техническим направлениям, способствующим повышению эффективности сборки и качества выпускаемой продукции. Одним из таких направлений является внедрение многономенклатурных, быстро переналаживаемых автоматизированных модулей, робототехнических комплексов, гибких транспортных систем, автоматизированных складов.

Гибкая сборка включает в себя использование промышленных роботов, хотя в некоторых случаях для ее осуществления достаточно установить манипуляторы, выполняющие операции типа «взять – установить» с цикловым управлением. Тип применяемого оборудования зависит от программы выпуска, размеров собираемых узлов и требуемой степени гибкости. Цель большинства технологических комплексов, устанавливающих роботизированные сборочные системы, состоит в резком сокращении расходов и времени на замену оснастки, выполняемую при переходе на другую модель собираемого изделия. Громадный потенциал в области гибкой автоматизации сборочных работ требует использования автоматических манипуляторов с программным управлением – промышленных роботов на операциях сборки узлов, трудоемкость которых в общем объеме трудовых затрат по выпуску автомобиля составляет 25...30%. Создание робототехнических сборочных комплексов существенно повышает уровень автоматизации сборочного производства.

В автомобильной промышленности нередко меняются модели выпускаемого изделия спустя всего полгода после начала ее производства, иногда ограничиваются только незначительными модификациями. В этом случае целесообразно использование сборочных модулей, обеспечивающих быструю переналадку на сборку заданной номенклатуры изделий. Значительно легче автоматизировать не всю сборочную линию, а только отдельные сборочные модули.

При создании роботизированного технологического комплекса сборки валов необходимо правильно выбрать тип робота-манипулятора и накопителя, разработать конструкции захватов, связать манипулятор с обслуживаемым технологическим оборудованием, создать систему блокировки и т.д. Процессы сборки валов отличаются высокой стабильностью и сравнительно небольшим временем цикла.

При сборке сложных узлов, таких как коробка передач, раздаточная коробка задача выбора манипулятора усложняется. Для сборки таких узлов необходимо определить наличие базовой детали и надежных установочных поверхностей у составляющих сборочных единиц. Например, у раздаточной коробки базовой деталью является картер, который объединяет все детали и сборочные единицы. Основное количество деталей устанавливается с одной стороны. Удобство установки деталей и контроля выполнения сборочных операций объясняется тем, что в начале процесса сборки, она ведется в вертикальном направлении, при этом сила тяжести помогает удерживать сопрягаемые детали и сборочные единицы. Большинство деталей и сборочных единиц устанавливаются без специального контроля, качество соединения определяется визуально и путем перемещения сопрягаемых деталей вручную относительно друг друга. Наличие множества сборочных единиц в конструкции раздаточной коробки

позволяет подавать на общую сборку меньшее число комплектующих изделий и позволяет повысить качество выполнения сборочных соединений. Возможность применения простых технических средств механизации и автоматизации сборки обусловлено тем, что при сборке раздаточной коробки выполняются резьбовые и прессовые соединения, для этого используются многошпиндельные гайковерты и прессы. В процессе сборки раздаточной коробки три раза производится смена баз.

Анализ схем сборки узлов коробки передач показал, что вся сборка осуществляется по трем направлениям, что позволяет выбрать направление действия усилий (вертикальное, горизонтальное, наклонное); геометрические характеристики траектории движения робота (величина хода, сопряжения, радиус поворота, угол поворота); количество движений робота по установке объекта манипулирования.

Результаты исследований технологических процессов сборки типовых узлов изделий машиностроения показывают, что в большинстве сборочных операций 60% деталей при сборке вводят с одного направления, 20% - с противоположного, 10% - под прямыми углами к этим направлениям и 10% - с других направлений. К типовым операциям при сборке относят: ввод и фиксацию (затяжку) крепежных изделий или заклепок, запрессовку в корпуса подшипников, пальцев и уплотнений, установку небольших корпусов, роторов и статоров, сборку шайб и контактов, нанесение защитных покрытий и смазочных материалов.

Среди типичных изделий, получаемых путем сборки, можно назвать узлы, заменяемые новыми каждые несколько лет, а также такие изделия, как зубчатые передачи, электродвигатели и генераторы переменного тока, изготовление множества модификаций которых может потребоваться на одной и той же сборочной линии.

В результате обследования предприятий сборочного производства установлено, что промышленные роботы могут быть использованы при сборке всех этих узлов. В числе основных сборочных операций, обычно осуществляемых роботами, - подъем собираемой детали в вертикальном направлении, ее горизонтальное перемещение и затем опускание в том же направлении для ввода этой детали в другую. Такие операции следует выполнять быстро и плавно. Таким образом, лучше всего подходит для сборки робот, способный непосредственно обеспечить перемещения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Кроме того, у такого робота должна быть достаточно обширная рабочая зона, а сам он должен иметь предельно малые размеры. Для автоматизации сборочного производства обычно используются автоматические манипуляторы с цикловой системой управления и фиксацией крайних положений рабочих органов по жестким упорам. Рука имеет четыре степени свободы: горизонтальное и вертикальное перемещение, поворот вокруг вертикальной оси и разворот кисти относительно горизонтальной оси. Пятой степенью свободы является движение схвата. При подходе к упорам рабочий орган плавно тормозится гидравлическими или пневматическими демпферами. Приводы перемещения руки, кисти и схвата - пневматические, по вертикали рука перемещается пневмогидравлическим мультипликатором.

При автоматическом режиме работы обеспечивается одно- и многократное воспроизведение цикла, причем в одном цикле может осуществляться до четырех вертикальных и горизонтальных перемещений руки и до трех остальных перемещений, а также подаваться команды на включение и отключение технологического оборудования, работающего в паре с манипулятором. Кроме того, от технологического оборудования могут подаваться команды, подтверждающие в заданные моменты времени готовность оборудования к взаимодействию с манипулятором. Если подтверждающие команды отсутствуют, цикл прерывается и манипулятор останавливается.

Одной из тенденций развития современного роботостроения является создание специализированных конструкций промышленных роботов, не обладающих избыточностью функций и наиболее полно отвечающих требованиям, предъявляемым к выполнению конкретных технологических задач. Предпочтение при этом отдается агрегатно-модульному принципу построения, обеспечивающему минимизацию необходимого количества степеней

подвижности робота для выполнения своего функционального назначения. Исполнительное устройство и устройство управления скомпонованы из модулей в соответствии с требуемыми кинематической, энергетической и управляющей схемами, а рабочий орган зафиксирован на унифицированной стыковочной поверхности манипулятора.

Устройства микроэлектроники дают возможность управлять сборочным процессом на всех его стадиях. Роботы в робототехнологических комплексах линий сборки должны определять местонахождение и относительное положение деталей, захватывать и переносить их на требуемую позицию, корректируя по пути относительное положение.

С целью определения требующихся характеристик манипулирующих и захватных устройств, наиболее полно отвечающих требованиям выполнения конкретных сборочных операций, на основе взаимосвязи между конструкцией собираемых изделий и классификационными признаками модульных автоматических манипуляторов, было проведено статистическое обследование сборочных узлов массой до 3,5 кг по конструктивно-технологическим признакам сборки. Статистическому обследованию групп узлов в проведенной работе подвергались те конструктивно-технологические признаки собираемых узлов, которые напрямую связаны с классификационными признаками модульных автоматических манипуляторов: масса; количество деталей или подузлов, входящих в узел; габаритные размеры; расположение деталей в узле (вдоль одной или нескольких осей, вдоль вертикальной, горизонтальной или наклонной осей).

На рисунках 1 и 2 представлены результаты статистического обследования групп узлов автомобилей, а именно распределение собираемых узлов по направлениям сборки и по массе.

Анализ результатов обследования многочисленных сборочных узлов в машиностроении по конструктивно-технологическим признакам показал, что по массе узлы распределяются следующим образом: до 1,6 кг - 72%; от 1,6 до 3,2 кг - 17%, от 3,2 до 6,3 кг - 7%.

Точность установки собираемых деталей характеризуется величинами зазоров, образующихся при сборке, наличием и размером фасок, закруглений на сопрягаемых поверхностях, а также точностью взаимного расположения поверхностей захвата и сопряжения. Исследованием определено, что в большинстве случаев погрешность установки деталей массой до 1,6 кг составляет $\pm 0,05$ мм, деталей свыше 1,6 кг - $\pm 0,1$ мм. В результате анализа операций, связанных с силовым воздействием на собираемые детали, определено, что при установке манжет, колец, уплотнений усилие давления по вертикали необходимо в пределах 150...2000 Н. Анализ показал, что по характеру движений робота 96% операций сборки осуществляется при прямолинейном движении деталей и только 4% - при криволинейном. Более 12% узлов собирается установкой деталей вдоль одной оси (одноосевая сборка), 32% - вдоль двух осей, 55% узлов имеют оси сборки, направленные горизонтально и вертикально, 18% - только вертикально. Результаты анализа операций по количеству движений, соответствующих количеству степеней подвижности модульных автоматических манипуляторов, показали, что более чем в 80% операций сборки необходимы три движения, менее чем в 1% операций - четыре.

Компоновку сборочных систем определяет программа выпуска узлов. Наиболее приемлемым вариантом при гибкой сборке является дифференцированная сборка, при которой модульный автоматический манипулятор выполняет, как правило, одну технологическую операцию. Вследствие этого количество точек, обслуживаемых манипулятором, может быть от 2 до 8. Это обеспечивается при двухточечном позиционировании схвата по каждой из степеней подвижности, осуществляемой по жестким упорам, расположенным в крайних положениях.

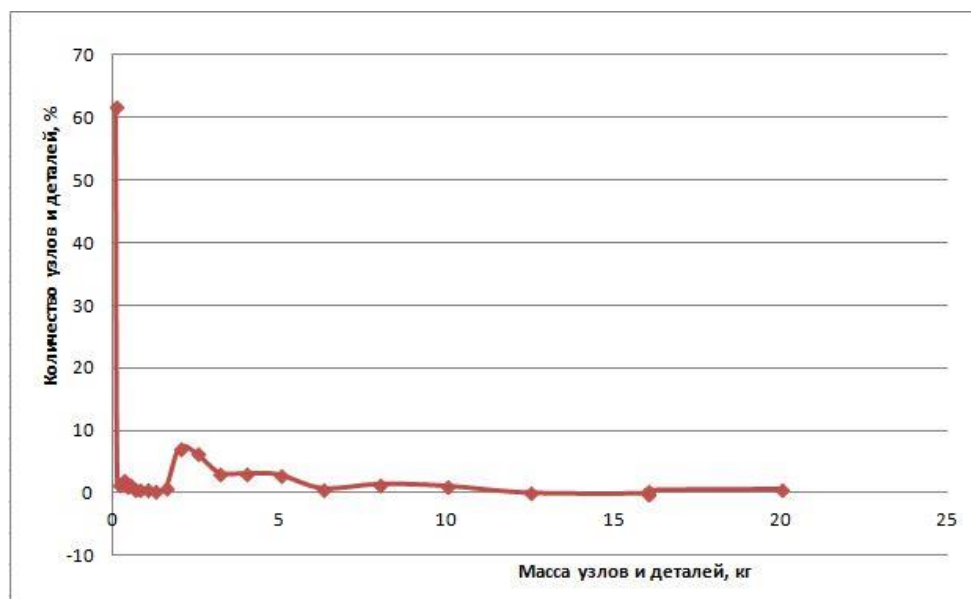


Рис. 1. Распределение собираемых узлов по числу направлений сборки

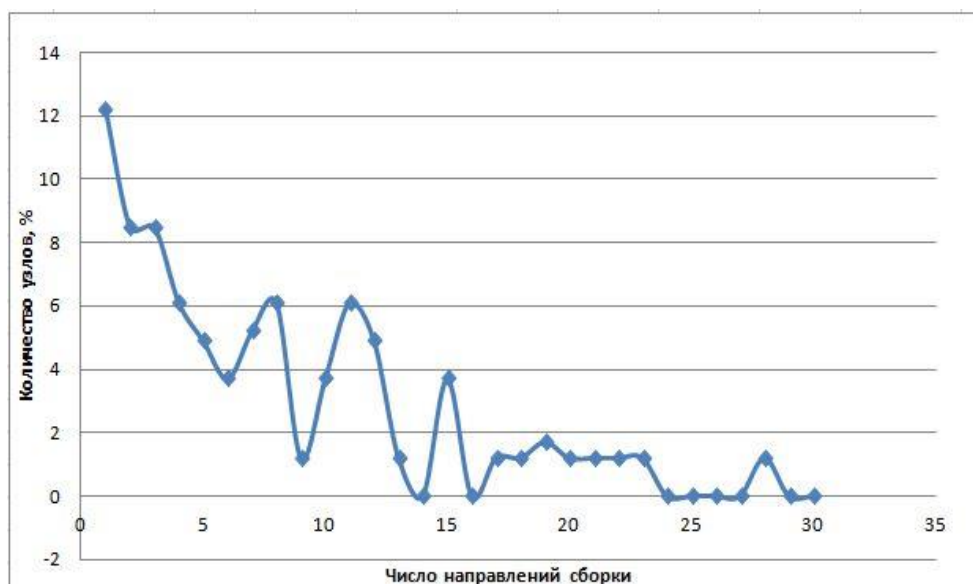


Рис. 2. Распределение собираемых узлов по массе

Анализ собираемых узлов по конструктивно-технологическим признакам позволил определить общие требования к характеристикам агрегатно-модульного автоматического манипулятора. Манипуляторы для сборки валов должны иметь четыре (первый тип) и пять (второй тип) степеней подвижности, номинальную грузоподъемность – 1,6 и 3,6 кг соответственно, погрешность позиционирования деталей массой до 1,6 кг – $\pm 0,05$ мм, деталей свыше 1,6 кг – $\pm 0,1$ мм. Горизонтальный и вертикальный ход для первого типа манипулятора – 240 мм и 80 мм, для второго типа – 400 и 160 мм, усилие давления по вертикали – 15 Н (первый тип) и 30 Н (второй тип).

При выборе компоновки модуля сборки валов решающим стал технологический принцип: оборудование установлено в последовательности технологических переходов, при этом расстояния между оборудованием соответствуют перемещениям рабочих органов манипулятора. В промежуточных накопителях выполняются подготовительные операции по ориентированию деталей перед подачей их в схват манипулятора.

При создании автоматической сборочной позиции необходимо было решить задачу обеспечения безопасности перемещения руки манипулятора в рабочую зону и разработать систему связей манипулятора с обслуживаемым оборудованием. Наиболее опасными

являются следующие ситуации: ползун пресса начинает ход вниз раньше, чем рука манипулятора вернется в горизонтальном направлении в исходное положение; рука манипулятора начинает перемещение вперед раньше, чем ползун пресса придет в верхнюю мертвую точку. Для исключения таких ситуаций прессы оснащаются современными устройствами управления, в которых предусмотрены блокировки, исключающие сдвигание ходов ползуна пресса. Для обеспечения безопасности перемещения руки манипулятора в рабочую зону пресса на кривошипном валу устанавливается конечный выключатель, формирующий верхнюю мертвую точку (ВМТ) ползуна, а на манипуляторе установлен конечный выключатель, контролирующий нахождение руки в исходном положении.

Сигналы от этих конечных выключателей использованы для получения команд подтверждения, введенных при программировании работы позиции. Конечный выключатель, установленный на прессе, дает команду на разрешение перемещения руки манипулятора в рабочую зону пресса, а конечный выключатель, установленный на манипуляторе, разрешает перемещение ползуна пресса вниз.

Программирование работы позиции заключается в задании последовательности движений рабочих органов манипулятора, включений и выключений обслуживаемого технологического оборудования, а также временных интервалов между началом каждого движения.

При агрегатно-модульном построении функциональные узлы автоматического манипулятора создаются на агрегатной основе и на их базе возможна разработка различных компоновочных схем. К этим модулям предъявляются требования:

- законченность и конструктивная самостоятельность;
- прочность и жесткость в соответствии с проектными нормативами;
- возможность компоновки в различных сочетаниях и положениях, простота и надежность монтажа;
- унификация стыковочных элементов узлов одинакового назначения (унификация узлов в пределах смежных типоразмеров и между отдельными типажам модулей).

Необходимо создать гамму модулей, отличающихся грузоподъемностью и включающих модули поворота, горизонтальных и вертикальных перемещений, сдвига и ротации захвата, механических, электромагнитных и вакуумных схватов.

Привод преобразует сигналы, поступающие от системы управления, в механические перемещения исполнительных звеньев. Различают электрический, пневматический, гидравлический типы приводов и их комбинации.

При необходимости двухточечного позиционирования исполнительного звена манипулятора по каждой из степеней подвижности наиболее целесообразным является использование пневматического привода. При наличии централизованной системы подачи воздуха следует учитывать также такие преимущества пневматического привода, как дешевизна, простота конструкции, высокая надежность, пожаробезопасность. В качестве приводных элементов используются пневмоцилиндры диаметром 20, 32, 40 и 50 мм. Номинальное расчетное давление сжатого воздуха, необходимое для надежной работы модулей, 0,4...0,45 МПа.

Модули линейных перемещений включают модули горизонтальных, вертикальных перемещений и модули сдвига. Линейные перемещения возможны с использованием различных кинематических схем. При выборе конструктивной схемы основным условием является обеспечение максимальной жесткости системы в вертикальной плоскости.

К модулям вращения относятся модули поворота и ротации захватов. Эти модули можно выполнить по двум различным конструктивным схемам: с использованием линейного пневмоцилиндра, обеспечивающего заданный угол поворота через реечно-шестеренчатую передачу, и в виде неполноповоротного пневмоцилиндра, поршень которого имеет прямоугольную форму и снабжен фторопластовым уплотнением.

Для торможения выходного звена автоматического манипулятора в конечных положениях при подходе к упору наибольшее распространение получили гидродемпферы. Изменение скорости перемещения подвижного звена модулей осуществляется путем регулировки дросселя. Возможен также вариант торможения исполнительных звеньев модулей с использованием торможения противодавлением.

Кинематическая схема робота разрабатывается в следующей последовательности:

- определяем оптимальное передаточное отношение по каждой степени подвижности;
- выбираем из принятых передаточных отношений и компоновочного чертежа тип кинематических элементов передач, и разбиваем передаточное отношение по элементам кинематической цепи;
- исходя из компоновочного чертежа и передаточных отношений, определяем тип кинематических связей между приводом и входным элементом передаточного механизма.

Особенностью работы роботов являются динамические нагрузки и большие зоны малых перемещений. Поэтому для определения оптимального передаточного отношения необходимо учитывать, что с увеличением передаточного числа i уменьшается J_n , что приводит к резкому уменьшению времени разгона. С другой стороны уменьшается максимальная скорость установившегося движения. Передаточное отношение выбирают из условия минимума времени перемещения по степени подвижности. Передаточное отношение механических перемещений представляет собой зубчато-реечный механизм со следующими данными:

Z – число зубьев рейки;

t – шаг рейки;

S – длина рейки.

Расчет захватного устройства (ЗУ) включает проверку на прочность деталей захвата. Кроме того, необходимо определить силу привода ЗУ, силу в местах контакта заготовки и губок, проверить отсутствие повреждений поверхности заготовки или детали при захватывании, возможность удержания захватом детали при манипулировании, особенно в моменты резких остановок.

Усилие захватывания определяют из предположения, что удержание объекта манипулирования происходит за счет сил трения, создаваемых этим усилием:

$$F = m(g + a)K_1K_2$$

где m – масса объекта манипулирования; a – максимальное ускорение центра масс объекта манипулирования, м/с^2 ; K_1 – коэффициент, зависящий от положения заготовки по отношению к губкам схвата и направления действия сил тяжести; $K_2 = 1,3 \dots 2,0$ – коэффициент запаса (большое значение K_2 берут для схватов, в которых отсутствует самоторможение).

Коэффициент K_1 зависит от положения объекта манипулирования по отношению к губкам схвата и направления действия сил тяжести.

Губки схвата контактируют с деталью, и от их конструкции во многом зависит точность и надежность работы схвата.

Поперечное сечение рычага схвата рассчитывают на изгиб. Опасным сечением обычно является место установки шарнира:

$$\sigma_n = \frac{10^3 M_u}{W} \leq [\sigma]_n$$

где M_u – изгибающий момент, действующий в опасном сечении, Нм; W – момент сопротивления сечения изгибу, мм^3 ; $[\sigma]_n = (0,4 \dots 0,5) \sigma_T$ – допускаемое напряжение изгиба, МПа.

Рассчитывается схват по следующим характеристикам: масса объекта манипулирования., максимальное ускорение схвата (5 м / с²). Диаметр объекта манипулирования может колебаться от 60 до 200 мм.

Так как схват может занимать как вертикальное, так и горизонтальное положение, принимаем способ удержания заготовки за счет сил трения с базированием призмами. Учитывая, что материал переносимых схватом деталей, как правило, сталь, принимаем тип схвата механическим. Схват должен обеспечивать большой диапазон перемещений. Ввиду высоких требований к точности установки принимаем схему, обеспечивающую поступательное перемещение губок, и, следовательно, точное базирование удерживаемой детали в осевом направлении при различных ее диаметрах.

Диаметр поршня привода схвата определяют из соотношения:

$$d = \sqrt{\frac{4F_n}{(\pi P \eta_n \eta_c)}}, (\text{мм})$$

где F_n – усилие привода схвата, Н; P – давление энергоносителя (для пневмопривода 0,4 МПа, для гидропривода 3 ... 12,5 МПа); η_n , η_c – к. п. д., схвата и привода ($\eta_c = 0,9 \dots 0,95$, $\eta_n = 0,85 \dots 0,95$).

Усилие привода:

$$F_n = F \cdot i, \quad \text{где } i = \frac{2l \cos Q}{R}$$

Из конструктивных соображений принимаем $l = 150$ мм.

Угол Q определим исходя из максимального перемещения:

$$S = \frac{(D_1 - D_2)}{2} + \Delta = \frac{(200 - 60)}{2} + 20 = 90 \text{ мм}$$

где $D_1 = 200$ мм – максимальный диаметр удерживаемой детали; $D_2 = 60$ мм – минимальный диаметр; $\Delta = 20$ мм – дополнительный ход, необходимый для выхода призмы от поверхности заготовки:

$$Q = \frac{S}{l} = \frac{90}{150} = 0,6; Q = 34^\circ 22' 39''$$

Радиус зубчатого колеса определяется из расчета зубчато-реечной передачи на изгиб:

$$m = 14 \cdot \sqrt[3]{\frac{y_F K_{F\beta} F}{Z^2 \psi_{bd} \sigma_{FP}}}$$

где $Z = 30$ – число зубьев; $y = 4,26$ – коэффициент формы зуба; $\psi_{bd} = \frac{b}{d} = 0,6$ – коэффициент ширины венца; $K_{F\beta} = 1,08$ – коэффициент, учитывающий распределение нагрузки по ширине венца; $\sigma_{FP} = 320$ МПа – допускаемое напряжение при расчете зубьев на изгибную прочность (сталь 40ХН, термообработка поверхности токами высокой частоты $K_{F\beta} = 1$).

Принимаем $m = 5$ мм., тогда:

$$R = \frac{mz}{2} = \frac{5 \cdot 30}{2} = 75 \text{ мм}; F_n = \frac{2F_l \cos Q}{R} = \frac{2 \cdot 3000 \cdot 150 \cdot 0,82}{74} = 9840 \text{ Н.}$$

С целью синхронизации операций для определения норм времени использовано построение циклограмм, из которых видны длительность и последовательность выполнения сборочных переходов. Циклограммирование является средством синхронизации всех совместно работающих сборочных и транспортных устройств, образующих сборочный модуль. При построении циклограммы определяются переходы, выполняемые на позиции последовательно, параллельно (одновременно) или такие, порядок выполнения которых безразличен. Построение циклограммы дало возможность с достаточной степенью детализации описать программы работы всех функциональных механизмов, проверить целесообразность подбора и объединения отдельных сборочных переходов. При построении циклограммы используются линейные координаты. Каждая строка соответствует одному из механизмов. В ней указаны название механизмов и тех функций (движений), которые они выполняют, даются такты работы механизмов, означающие те узловые моменты времени, в которые происходит смена состояния модуля. Показаны причинно-следственные связи, которые необходимо обеспечить в процессе функционирования оборудования для соблюдения последовательности срабатывания отдельных механизмов. Для определения временных параметров процесса функционирования использована следующая информация:

- перечень и функциональное назначение механизмов, входящих в состав модуля;
- значение параметров, описывающих структуру модуля;
- совокупность пространственно-временных отношений между всеми функциональными механизмами (i -й переход предшествует j -му и i -й переход следует за j -м, i -й переход выполняется одновременно (параллельно) с j -м.

Наиболее рациональная компоновка модуля сборки вала коробки передач состоит из порталного робота, накопителя сменных схватов, прессы, четырех магазинов с поворотными столами для устанавливаемых деталей, двух фиксирующих устройств, стопорного устройства, механизма кодирования, устройства смазки.

Сборочная головка предназначена для захвата, удержания и ориентирования положения и установки вала, шестерен, подшипника и шайбы. Она состоит из плиты, механизма поворота с пневмоцилиндром, двух пневматических схватов для захвата вала и шестерен. На механизме поворота закреплены три оправки. Две оправки предназначены для захвата подшипников, третья – для захвата шайбы. Механизм поворота имеет три фиксированных положения, в которых оправка направлена вертикально вниз.

Во время работы модуля необходимо, чтобы привод горизонтального перемещения головки включался только при фиксации ползуна вертикального перемещения в верхнем положении. Схват головки начинает работать только при опускании ползуна в нижнее положение. Вращение сборочной головки вокруг вертикальной оси происходит одновременно с горизонтальным перемещением схвата, но исключено при включении привода вертикального перемещения головки.

Опускание пуансона прессы происходит лишь при завершении перемещения переталкивателя в конечное положение и фиксации транспорта, но одновременно с поворотом головки от вала к спутнику.

На основе циклограммы задаются программы сборочным модулям, которые вводятся в системы автоматического управления – в программируемые контроллеры или в память микроЭВМ., для чего был разработан алгоритм согласования работы отдельных механизмов для предотвращения их столкновения, обеспечивающий заданное относительное положение каждого механизма в определенный момент времени, определяющий норму времени каждого технологического перехода.

Широкое применение робототехнологических сборочных комплексов — не только технико-экономическая, но и важная социальная проблема, так как при их внедрении

высвобождается много рабочих рук, коренным образом изменяется характер труда на производстве.

Литература

1. Бухтеева И.В., Елхов П.Е. Групповая гибкая технология сборки задних мостов грузовых автомобилей. // Известия МГТУ «МАМИ». - 2012. №14 - С. 7 -12.
2. Аббясов В.М., Бухтеева И.В., Елхов П.Е. Предварительный выбор и оптимизация надежности автоматического сборочного оборудования. // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. - №5. С. 28 – 33.