

На правах рукописи

Варыпаев Станислав Эдуардович

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ЗАГРУЗОЧНЫХ
УСТРОЙСТВ**

**Специальность 050202 — “Машиноведение и
детали машин”**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск 1996

Работа выполнена на кафедре "Автоматизация кузнечно-штамповочного производства" Челябинского государственного технического университета.

Научный руководитель

— доктор технических наук, профессор
Катков Николай Павлович.

Официальные оппоненты:

— доктор технических наук, профессор
Дубровский Анатолий Федорович;

— кандидат технических наук, доцент
Леванидов Владимир Владимирович.

Ведущее предприятие — АО КБ "Ротор", г. Екатеринбург.

Защита состоится " ____ " _____ 1996г., в ____ часов, на заседании специализированного совета К 053.13.02 Челябинского государственного технического университета по адресу: 454080, Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 224.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧГТУ.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1996 г.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных гербовой печатью учреждения, просим направлять ученому секретарю специализированного совета по адресу университета.

Ученый секретарь
Специализированного совета
кандидат технических наук,
доцент

В.В. Жестков

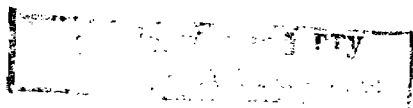
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Автоматизация промышленного производства, как правило, является важным фактором повышения производительности труда и качества выпускаемой продукции. Высший уровень автоматизации - автоматические технологические линии. В автоматических линиях с неподвижными рабочими позициями, которые нашли распространение в массовом производстве, перемещение предметов обработки осуществляется поворотными столами, шаговыми конвейерами, грейферными, клещевыми и тому подобными устройствами. Эти устройства останавливаются на время технологического воздействия на обрабатываемый предмет, а на время его транспортирования прерывается технологическое воздействие. Это обстоятельство ограничивает производительность линии, в особенности при выполнении операций различной длительности. Упомянутые недостатки транспортно-загрузочных устройств обусловлены тем, что траектория движения их захватных органов совпадает с линией размещения рабочих позиций.

Очевидно, проблема повышения производительности автоматических линий с неподвижными рабочими позициями может быть решена, если использовать транспортно-загрузочные устройства с траекторией движения захватных органов, не совпадающей с линией расположения рабочих позиций. В этом свете представляются интерес устройства с циклоидальной траекторией движения захватных органов. Изучение особенностей функционирования устройств такого типа, определение их возможностей, разработка теоретических основ их проектирования не нашли должного отражения в доступной литературе. В этой связи решение упомянутых задач делает актуальным проведение соответствующих исследований.

Целью работы является поиск наиболее эффективной схемы и разработка методики определения структуры и размерных параметров транспортно-загрузочных устройств с гипоциклоидальной траекторией движения захватных органов.

Методы исследования. Теоретическое исследование зависимости кинематических характеристик траектории захватных органов от размерных параметров выполнено методом математического моделирования с применением ЭВМ, исследование последовательности взаимодействия захватов с рабочими позициями - с помощью разработанной в диссертации "матрицы взаимодействия", методика расчета параметров основана на теории приближения функций и направленного поиска, экспериментальное исследование планетарного механизма выполнено путем непосредственной фиксации траектории за-



хвата, а также с применением метода электрического тензометрирования.

Научная новизна. Предложен новый принцип обеспечения остановки захвата транспортно-загрузочного устройства необходимой для надежной передачи предмета обработки в рабочую позицию.

Получены аналитические зависимости кинематических характеристик движения захвата от размерных параметров ряда планетарных механизмов.

Выполнен количественный анализ влияния размерных параметров механизма на кинематические характеристики движения захвата, в частности, время его остановки для передачи предмета обработки в рабочую позицию.

Разработана методика определения структуры транспортно-загрузочного устройства и последовательности взаимодействия его захватов с рабочими позициями.

Получены расчетные зависимости и разработан алгоритм расчета рациональных значений параметров планетарных механизмов по требованиям к условию транспортирования предмета обработки между позициями автоматической линии.

Практическая ценность. Приведенные в работе рекомендации по выбору схемы планетарного механизма, разработанная методика определения рациональной структуры транспортно-загрузочного устройства, полученные расчетные зависимости и программы по определению и уточнению размерных параметров позволяют получить необходимые данные для конструкторской проработки транспортно-загрузочных устройств.

Реализация работы. Методика расчета размерных параметров использована при разработке подачи многопозиционного пресса-автомата для Барнаульского завода механических прессов. Спроектирован и изготовлен лабораторный стенд, иллюстрирующий возможности транспортно-загрузочного устройства с гипоциклоидальной траекторией движения захватного органа.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены и обсуждены на Международном симпозиуме "Новое в роторной технологии", г.Тула, 1993; Российской научно-технической конференции "Наукоемкие технологии в машиностроении и приборостроении", г.Рыбинск, 1994; Всероссийской научно-технической конференции "Оборудование и процессы обработки давлением", г.Москва, МГТУ, 1995; ежегодных научно-технических конференциях Челябинского государственного технического университета, 1992 ... 1995 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ и 3 авторских свидетельства к патентам.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка литературы из 75 наименований, изложена на 144 страницах машинописного текста, содержит 45 рисунков, 8 таблиц и приложения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обозначены рациональные области использования промышленных манипуляторов, роторных транспортно-загрузочных устройств, поворотных столов, грейферных и других подач между рабочими позициями при автоматизации промышленного производства. Отмечено, что проблема повышения производительности автоматических линий с неподвижными рабочими позициями, выполняющими кратковременные технологические операции, может быть решена лишь применением транспортно-загрузочных устройств, обеспечивающих движение предметов обработки по траектории, не совпадающей с линией расположения рабочих позиций. Устройства с гипоциклоидальной траекторией движения захватных органов отвечают этим требованиям, но недостаточно изучены и в литературе отсутствуют методы их расчета.

1. Состояние вопроса и задачи исследования

Проведены патентные исследования, обзор известных конструкций и схем устройств с гипоциклоидальной траекторией движения выходного звена, дана оценка состояния исследования по предмету диссертации. В результате установлено, что более простые устройства с движением захватных органов по нормальной гипоциклоиде не обеспечивают остановки захватов, необходимой для надежной передачи транспортируемого предмета обработки в рабочую позицию. Устройства, обеспечивающие требуемую остановку захватных органов, имеют значительно более сложную схему, снижающую их надежность и увеличивающую трудоемкость изготовления.

При оценке уровня изученности рассматриваемых механизмов установлено, что в фундаментальных работах по теории машин и механизмов отсутствуют материалы по их исследованию. Механизмы с траекторией движения выходного звена, близкой к гипоциклоиде, рассмотрены в работах О.Б.Ефанова, И.А.Каулиньш, В.В.Кушнир, Ю.Н.Павлова, К.Я.Райнес, А.Я.Янсонс. В большинстве публикаций дается, в основном, описание их устройства и принципа действия, указывается на более широкие возможности транспортно-загрузочных устройств с гипоциклоидальной траекторией движения захватных органов в сравнении с другими типами, на их более бла-

гоприятные характеристики изменения скорости и ускорения. Отмечаются недостатки нормальной гипоциклоиды, как траектории движения, для изменения характера траектории рекомендуется применять устройства с более сложными схемами, приводится ряд таких схем. В ряде работ приводится описание схем, обеспечивающих дополнительные возможности устройств. В других работах дается методика согласования циклов работы транспортного устройства с циклами работы технологического оборудования. Лишь в одной работе исследована траектория движения выходного звена циклоидального механизма. Рассмотрен частный случай - четырехвершинная укороченная гипоциклоида. Использовать приведенные зависимости затруднительно, так как кинематические характеристики в работе не связаны численно с размерами звеньев.

В известных литературных источниках не исследована зависимость кинематических характеристик механизмов от размерных параметров входящих в него звеньев при движении их выходного звена по удлиненной гипоциклоиде. Недостаточно изучены вопросы взаимодействия захватов с рабочими позициями при автоматизации технологических процессов с операциями различной длительности. Отсутствует методика определения числа рабочих позиций, структуры обслуживающего их транспортно-загрузочного устройства и его размерных параметров.

В качестве задач работы намечено устранение отмеченных пробелов в теории и методике определения структуры и расчета параметров механизмов с траекторией движения выходного звена по гипоциклоиде.

2. Математические модели кинематики циклоидальных транспортно-загрузочных устройств

Приведен сравнительный анализ достоинств, недостатков и предпочтительной области применения трех схем планетарных механизмов, в которых центр захвата, размещенный на сателлите, совершает движение по траектории, представляющей в плане гипоциклоиду. Показано, что наиболее широкими возможностями обладает механизм с замыкающим редуктором, схема которого (рис.1) запатентована. Для всех механизмов получены параметрические уравнения траектории в декартовых и полярных координатах, где параметром является угол φ поворота водила. Ниже приведены

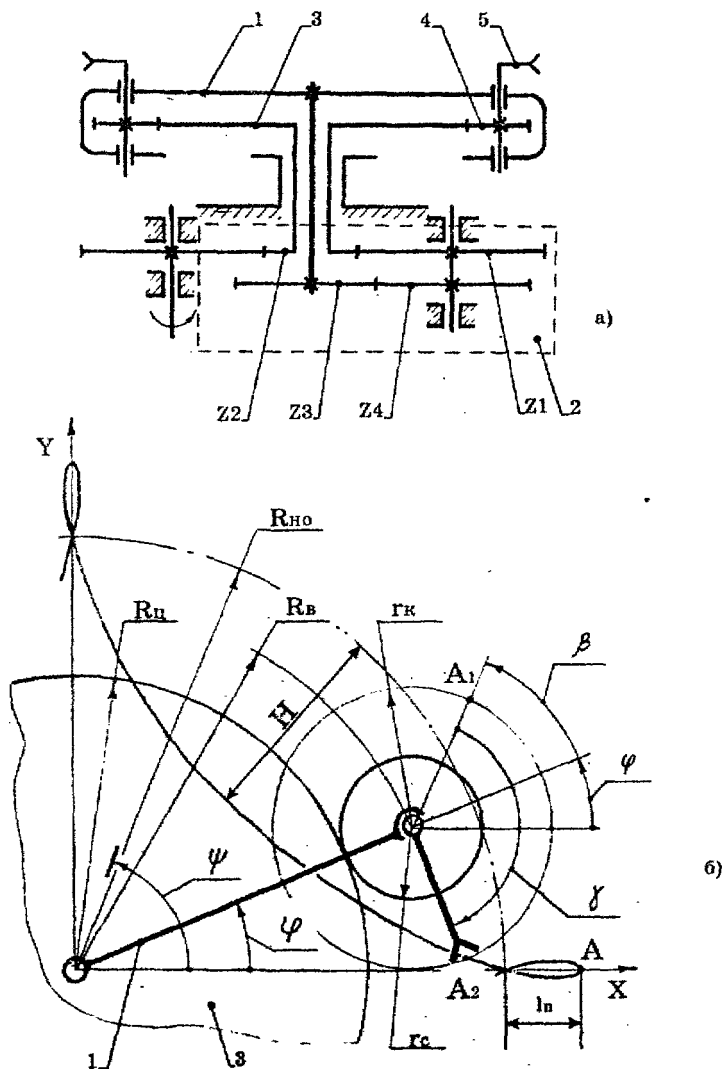


Рис. 1

Механизм с замыкающим редуктором:

- а) структурная схема; б) кинематическая схема;
 1- водило; 2- замыкающий редуктор; 3- центральное колесо;
 4- сателлит; 5- захват

уравнения траектории в декартовых координатах механизма с замыкающим редуктором:

$$x = R_B * \cos(\varphi) + r_K * \cos\left(\left\{\frac{R_c}{r_c} * (i-1) - 1\right\} * \varphi\right); \quad (1)$$

$$y = R_B * \sin(\varphi) - r_K * \sin\left(\left\{\frac{R_c}{r_c} * (i-1) - 1\right\} * \varphi\right), \quad (2)$$

где r_K - расстояние от оси сателлита до центра захвата;

R_c, r_c - соответственно радиусы делительных окружностей опорного колеса и сателлита;

R_H - радиус водила.

Передаточное отношение редуктора i определяется зависимостью

$$i = 1 + \frac{R * r_c}{r * R_u} = 1 + m * \frac{r_c}{R_u}. \quad (3)$$

В работе получены также выражения для вычисления значений скорости и ускорения захвата:

$$u_1 = \frac{\sqrt{(y(\varphi) - y(\varphi - 2 * \Delta\varphi))^2 + (x(\varphi) - x(\varphi + 2 * \Delta\varphi))^2}}{\Delta\varphi} * \omega; \quad (4)$$

$$u_2 = \frac{\sqrt{(y(\varphi + 2 * \Delta\varphi) - y(\varphi))^2 + (x(\varphi + 2 * \Delta\varphi) - x(\varphi))^2}}{\Delta\varphi} * \omega; \quad (5)$$

$$j = \frac{u_2 - u_1}{\Delta\varphi} * \omega, \quad (6)$$

где ω - угловая скорость водила.

Получено выражение для подсчета значения угла между координатной осью и касательной к траектории в рассматриваемой точке:

$$\delta = \arctg\left(\frac{y(\varphi + \Delta\varphi) - y(\varphi - \Delta\varphi)}{x(\varphi + \Delta\varphi) - x(\varphi - \Delta\varphi)}\right). \quad (7)$$

Совокупность полученных выражений для каждого из трех механизмов и программы расчета на ЭВМ позволяют выполнить анализ влияния размеров звеньев на кинематические характеристики выходного звена, знание которых необходимо для оценки взаимодействия захвата транспортно-загрузочного устройства и рабочих позиций при транспортировании предмета обработки и передаче его в зону обработки.

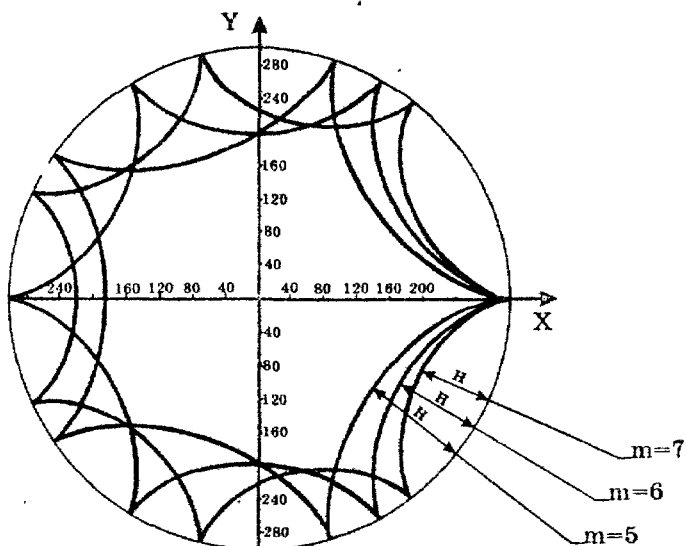


Рис. 2

Траектории захвата при различном числе точек возврата

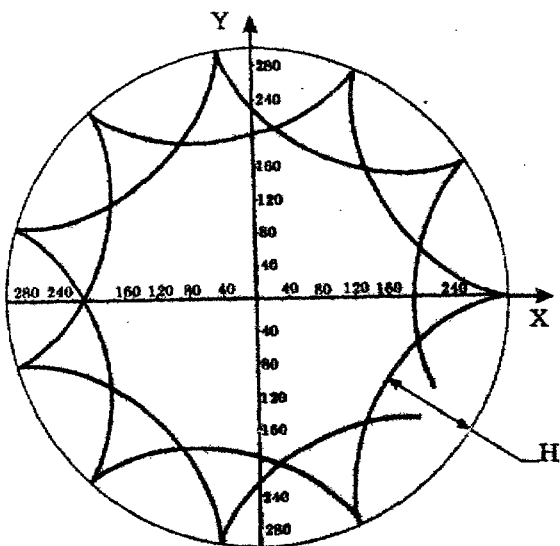


Рис. 3

Траектория захвата при дробном значении показателя гипоциклоиды ($m=11/2$)

3. Анализ кинематических характеристик циклоидальных транспортно-загрузочных устройств

Анализ траектории движения захвата показал, что с увеличением числа вершин гипоциклоиды (число возможных рабочих позиций) уменьшается "стрела" H ветви гипоциклоиды (рис.2). Уменьшение "стрелы" ограничивает поперечные размеры рабочей позиции в случае необходимости обхода ее захватом (занятая рабочая позиция). Между величиной H , радиусом $R_{\text{но}}$ окружности расположения рабочих позиций и числом m вершин обычной гипоциклоиды имеет место зависимость:

$$H / R_{\text{но}} = m / 2, \quad (8)$$

из которой следует, что при конкретных поперечных размерах рабочих позиций увеличение их числа влечет за собой неоправданное возрастание габаритов линии в плане. Установлено, что это ограничение может быть существенно снижено, если обеспечить движение захватного органа по гипоциклоиде с перекрещивающимися ветвями (рис.3). Найдены возможные значения числа вершин такой гипоциклоиды и соответствующие значения передаточного отношения между опорным колесом и сателлитом планетарного механизма.

При условии, когда расстояние r_K центра захвата от оси сателлита больше радиуса r_C делительной окружности сателлита, центр захвата будет перемещаться по траектории, называемой удлинненной гипоциклоидой, с петлями в вершинах (см.рис.1). Если захват подпружинить в направлении радиуса сателлита, а рабочие позиции разместить в основаниях петель, то предмет обработки остановится в рабочей позиции и петля "срежется". Предмет обработки будет оставаться неподвижным при повороте водила на угол φ_{CT} , в продолжение которого описывалась бы петля, и соответствующего времени стояния. В работе установлены количественные зависимости между размерами петли, отношением r_K / r_C , углом стояния φ_{CT} , радиусом R_{HO} окружности расположения центров рабочих позиций, величиной H "стрелы" ветви гипоциклоиды, необходимые для проектирования транспортно-загрузочного устройства с остановками захватов в рабочих позициях.

Анализ влияния размерных параметров планетарного механизма показал, что скорость предмета обработки в момент встречи с рабочей позицией не равна нулю при движении по удлинненной гипоциклоиде, как при движении по нормальной гипоциклоиде, и значение скорости тем больше, чем большее значение имеет угол

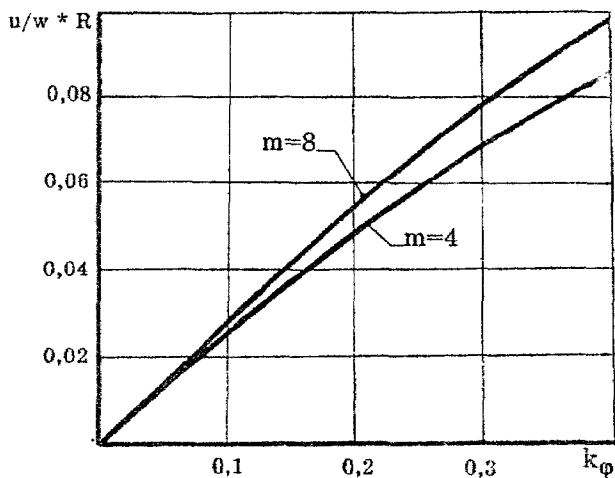


Рис. 4

Зависимость безразмерной скорости от угла выстоя

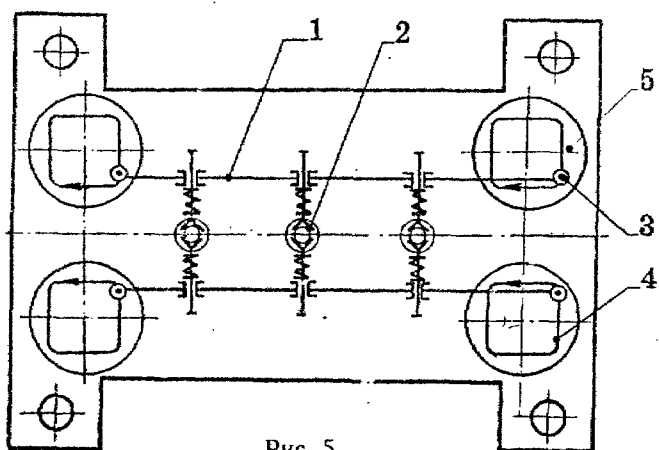


Рис. 5

Грейферное подающее устройство

- 1- грейферная ленточка; 2- подпружиненный захват;
 3- кривошипный палец; 4- траектория движения пальца;
 5- планетарный механизм

стояния (см. рис. 4). Из этого следует, что при проектировании устройства необходимо искать компромиссное решение.

На величину ускорения захвата в момент начала остановки, как показал анализ, величина угла стояния не оказывает существенного влияния.

В случаях, когда $r_K < r_C$, кривошипный палец будет описывать укороченную гипоциклоиду. При четырех вершинах гипоциклоида по форме приближается к квадрату со скругленными углами. Планетарный механизм, реализующий такую траекторию движения может быть использован как основа грейферной подачи в кривошипных прессах-автоматах (рис. 5). Такая подача, схема которой запатентована, не имеет кулачков, пневмоцилиндров и других быстроизнашивающихся деталей и, поэтому, более надежна. Для обеспечения требуемого взаимодействия захватов с предметами обработки траектория при сближении грейферных линеек должна иметь участок, достаточно точно приближающийся к прямой линии.

В работе выполнен анализ влияния отношения $\lambda = r_K / r_C$ на величину отклонения траектории от прямой линии, положение участка приближения по отношению к началу скругления и скорости движения захвата в начале этого участка. Результаты этого анализа будут полезны при решении вопросов расчета размерных параметров механизма.

4. Определение структуры транспортно-загрузочного устройства и последовательности взаимодействия его захватов с рабочими позициями

Время цикла T рабочей позиции складывается из технологического времени t_p и времени простоя t_n , вызванного заменой предметов обработки, и зависит от такта t_T работы транспортно-загрузочного устройства. Под временем t_T понимается время между посещениями рабочей позиции соседними захватами. Следовательно,

$$T = n_T^i * t_T, \quad (9)$$

где n_T^i - число тактов транспортно-загрузочного устройства в цикле рабочей позиции (целое число).

Производительность рабочей позиции в этом случае:

$$\Pi = 1/T = 1/(n_T^i * t_T) \quad (10)$$

Для того, чтобы предмет обработки забирался из рабочей позиции сразу после окончания обработки, технологическое время

$$t_p \text{ должно быть равно целому числу тактов } t_p = (n_T^i - 1) * t_T,$$

однако, в общем случае $t_p < (n'_T - 1) * t_T$.

Отсюда видно, что для повышения производительности, за счет сокращения потерь времени на замену предмета обработки, следует добиваться минимально возможного времени такта. Время такта зависит от числа n_B оборотов водила и числа N_3 захватов:

$$t_T = 1 / (n_B * N_3). \quad (11)$$

Следовательно, с целью уменьшения числа оборотов водила в единицу времени, надо стремиться к увеличению числа захватов.

При автоматизации технологических процессов с операциями равной длительности выполнения, число рабочих позиций равно числу операций плюс позиции загрузки-выгрузки. При автоматизации технологических процессов с операциями различной длительности число рабочих позиций не очевидно. Производительность линии на каждой операции должна быть одинаковой. Из этого условия вытекает соотношение:

$$\frac{n_1}{T_1} = \frac{n_2}{T_2} = \frac{n_3}{T_3} = \frac{n_i}{T_i}, \quad (12)$$

где n_i - число одинаковых рабочих позиций для выполнения i -той операции (целое число);

T_i - время цикла i -той операции.

Если принять, что T_1 - самое короткое время цикла, то

$$n_i = n_1 * T_i / T_1. \quad (13)$$

Для оценки эффективности принятых сочетаний числа рабочих позиций и числа тактов предложен так называемый коэффициент недогрузки рабочих позиций:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^N n_i * t_{pi}'}{\sum_{i=1}^N n_i * T_i}, \quad (14)$$

где t_{pi}' - время простоев на i -той операции, равное

$$t_{pi}' = n_T^i * t_T - t_p^i. \quad (15)$$

Числитель формулы (14) представляет собой сумму времени простоя всех рабочих позиций, а знаменатель сумму времени их циклов. Чем меньше этот коэффициент, тем меньше простои рабочих позиций в ожидании очередного предмета обработки и выше производительность.

Выполнение технологической операции в продолжении нескольких тактов предполагает необходимость отказа от взаимодействия

захвата с занятой рабочей позицией. Поэтому встает вопрос определения последовательности взаимодействия захватов с рабочими позициями. Решение этого вопроса на основе непосредственного рассмотрения траектории движения захватов невозможно, поскольку все захваты последовательно перемещаются по одной и той же траектории. Для решения вопроса предложена так называемая "матрица взаимодействия". Она представляет собой сетку вертикальных линий, пересекающих развертку линии размещения рабочих позиций (рис. 6). Вертикальные линии пересекаются горизонтальными, расположенными на расстоянии друг от друга, пропорциональном одному такту работы транспортно-загрузочного устройства. Каждая горизонтальная линия соответствует какому-либо захвату. Пересечение вертикальных линий отображает факт прохода захвата около соответствующей позиции. Горизонтальная стрелка обозначает перенос предмета обработки из одной рабочей позиции в другую. Вертикальная линия, связывающая конец одной стрелы с началом другой, пропорциональна выраженному числу тактов времени занятости соответствующей рабочей позиции.

"Матрица взаимодействия", построенная для транспортно-загрузочного устройства определенной структуры, позволяет составить программу отказа от питания занятых рабочих позиций.

5. Расчет размерных параметров планетарных механизмов транспортно-загрузочных устройств

Подлежащими определению параметрами планетарных механизмов транспортно-загрузочных устройств, обслуживающих расположенные по окружности рабочие позиции, является радиус $R_{НО}$ этой окружности, радиус R_B водила, радиусы делительных окружностей опорного колеса R_K , сателлитов r_c , расстояние r_K центра захвата от центра сателлита (см. рис. 1-6).

Радиус $R_{НО}$ окружности размещения центров рабочих позиций определяется их числом N и минимально осуществимым шагом S_{min} между ними:

$$R_{НО} = N * S_{min} / 2\pi. \quad (16)$$

В случае движения захватов по удлиненной гипоциклоиде приближенное значение радиуса водила определяется в зависимости от показателя m гипоциклоиды и угла φ_{CT} стояния захвата в рабочей позиции:

$$R_B = \frac{R_{НО}}{\sin(0,5 * \varphi_{CT}) * \operatorname{ctg}(0,5 * \varphi_{CT} * (m - 1)) + \cos(0,5 * \varphi_{CT})}. \quad (17)$$

Радиус делительной окружности внешнего опорного колеса:

$$R_H = \frac{R_B * m}{m - 1}, \quad (18)$$

радиус делительной окружности сателлита:

$$r_c = \frac{R_B}{m - 1}. \quad (19)$$

Найденные приближенные значения R и r_c необходимо откорректировать в соответствии со стандартным рядом модулей зубчатых колес и минимально допустимым числом зубьев в сторону увеличения размеров R и r_c , после чего уточняются значения:

$$R_B = R_H - r_c, \quad (20)$$

и

$$R_{HO} = \sqrt{R_B^2 + r_K^2 + 2 * R_B * r_K * \cos(0.5 * m * \varphi_{CT})}, \quad (21)$$

и расстояние центра захвата от центра сателлита:

$$r_K = \frac{r_c * \sin(0.5 * \varphi_{CT})}{\sin(0.5 * \varphi_{CT} * (m - 1))}. \quad (22)$$

Кроме этого, на значения размеров звеньев планетарного механизма накладываются ограничение возможности обхода занятой рабочей позиции:

$$R_{HO} - R_B + r_K > 0.5 * (D_p + d_3), \quad (23)$$

где D_p - диаметр рабочей позиции, а d_3 - диаметр изделия.

Окончательные размеры звеньев с учетом всех ограничений находятся методом направленного поиска. В диссертации приводится алгоритм и программа расчета на ЭВМ.

В механизме с внутренним опорным колесом на размеры звеньев накладываются дополнительные конструктивные ограничения, связанные с наличием паразитной шестерни, которые требуют соответствующих корректирующих расчетов.

В механизме с вращающимся внутренним колесом имеется двухступенчатый замыкающий редуктор, передаточное отношение которого должно удовлетворять условию:

$$i = 1 + m * \frac{r_c}{R_q}, \quad (24)$$

а число зубьев зубчатых колес редуктора — условию:

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4. \quad (25)$$

В диссертации приведена таблица передаточных отношений для возможных чисел рабочих позиций и соответствующее минимальное значение чисел зубьев замыкающего редуктора.

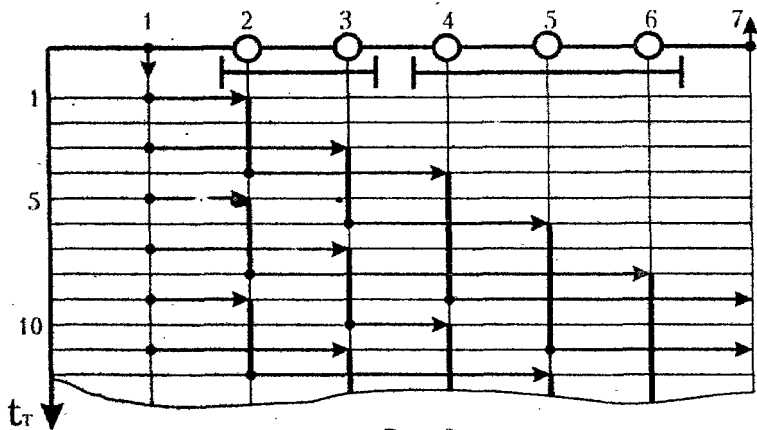


Рис. 6

"Матрица взаимодействия" для технологического процесса с операциями различной длительности выполнения

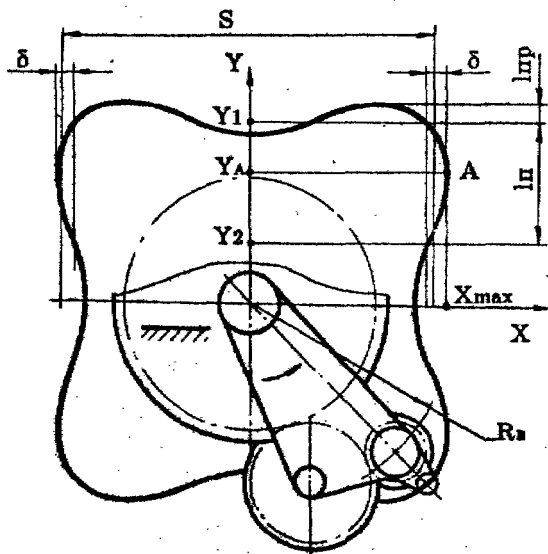


Рис. 7

Планетарный механизм к грейферному подающему устройству

В планетарном механизме грейферной подачи (см. рис. 7), реализующем четырехвершинную укороченную гипоциклоиду, параметрами, подлежащими определению, являются радиус R_B водила, и коэффициент $\lambda = r_K / r_C$. Задача решается методом приближения функций (приближение траектории к прямой линии на некотором участке l_H). Угол φ_{\max} , соответствующий экстремальному значению траектории выражается формулой:

$$\varphi_{\max} = \arcsin \sqrt{\frac{3*\lambda - 1}{4*\lambda}}. \quad (26)$$

Углы поворота водила в начале φ_1 и в конце φ_2 участка приближения определяются при численном решении уравнения:

$$\delta = S - (S + \delta) * (\cos(\varphi_{\max}) - \lambda * \cos(3*\varphi_{\max}) / 3) * (\cos(\varphi) - \lambda * \cos(3*\varphi) / 3), \quad (27)$$

где S - ход подачи,

δ - текущее значение отклонения траектории от прямой линии.

Искомое значение отношения λ должно удовлетворять условию:

$$[l_H] = R_B * (\sin(\varphi_2) - \sin(\varphi_1) + \lambda * (\sin(3*\varphi_2) - \sin(3*\varphi_1)) / 3) \quad (28)$$

и двум критериям - наименьшему значению отклонения δ от прямой линии и наименьшему значению скорости грейферных линеек в начале участка приближения. В диссертации приведен алгоритм расчета и программа синтеза по двум критериям на ЭВМ.

6. Экспериментальные исследования

Экспериментальному исследованию подвергался планетарный механизм грейферной подачи к траектории движения пальца кривошипа которого предъявляются повышенные требования. Выяснялись вопросы по определению действительной траектории, точности приближения ее к прямой линии, влияние зазоров в подвижных сочленениях на характер траектории. Исследование выполнялось на самостоятельно спроектированном и изготовленном стенде, включающем два идентичных планетарных механизма, связанных линейкой с захватами, привод синхронного движения механизмов и приспособления для регистрации траектории движения линейки. Планетарные механизмы имеют устройство для изменения отношения $\lambda = r_K / r_C$, позволяющего изменять характер траектории.

Непосредственная запись траектории карандашом, помещенным в центр кривошипного пальца, наглядно иллюстрирует влияние отношения $\lambda = r_K / r_C$ на характер траектории. Однако записанная таким образом траектория включает погрешности, вызванные неточностью и недостаточной жесткостью крепления карандаша и его пишущего элемента. Для большей достоверности результатов была проведена запись траектории на осциллограммы с использованием метода электрических измерений неэлектрических величин. На осциллограмме фиксировались угол поворота водила, угол отклонения радиуса-вектора от оси водила и величина изменения радиуса-вектора. Тарирование датчиков производилось непосредственно на стенде. Дается описание последовательности тарирования датчиков для проведения эксперимента.

Полученные на основе обработки осциллограммы значения полярных координат траектории пересчитывались в декартовы и сопоставлялись с теоретическими значениями. Результаты экспериментального исследования показали, что при изготовлении звеньев механизма по 7...8 квалитетам, а зубчатых колес по 8 классу точности, отклонение траектории от прямой линии на участке приближения превышает его теоретическое значение на 0,25% от шага подачи при доверительной вероятности 0,95.

Общие выводы по работе

1. Недостаточно изучены и поэтому не нашли широкого применения транспортно-загрузочные устройства, обеспечивающие перемещение предметов обработки по гипоциклоиде. Такая траектория дает более широкие возможности в сравнении с широко распространенными транспортно-загрузочными устройствами. Эти устройства приняты в качестве объекта исследования.

2. Выявлены три наиболее эффективные схемы планетарных механизмов реализующих гипоциклоидальную траекторию перемещения захватных органов, для которых разработаны математические модели кинематики. На основе этих моделей исследовано влияние размерных параметров механизмов на характеристики движения захватных органов. В результате установлено, что:

- использование гипоциклоиды с перекрещивающимися ветвями существенно расширяет возможности увеличения числа позиций без увеличения габаритов линии, с этой целью рассчитаны возможные варианты траекторий для вероятного диапазона чисел рабочих позиций;

- петли в вершинах удлиненной гипоциклоиды можно использовать для обеспечения выстоя захвата простым его подпружинива-

нием вместо применения для этой цели сложных по структуре устройств, с этой целью найдены зависимости между углом выстоя и параметрами траектории;

— планетарный механизм, реализующий укороченную гипоциклоиду с четырьмя вершинами, можно использовать для создания грейферного транспортно-загрузочного устройства, с этой целью найдено значение отношения радиуса кривошипа к радиусу сателлита, обеспечивающее необходимое приближение траектории к прямой линии.

3. Показано, что рассмотрение последовательности взаимодействия захватов с рабочими позициями удобнее выполнять с помощью предложенной "матрицы взаимодействия". Полученные аналитические зависимости для расчета числа захватов и рабочих позиций позволяют решать задачу по определению структуры автоматической линии. И далее с помощью "матрицы взаимодействия" и предложенного "коэффициента недогрузки", найти предпочтительные варианты структуры линии и стратегии обслуживания рабочих позиций захватными органами.

4. Полученные расчетные зависимости и программы расчета позволяют определить оптимальные значения размерных параметров механизмов, реализующих как удлиненную, так и укороченную гипоциклоидальную траекторию движения захватов.

5. Экспериментальное исследование показало хорошую сходимость теоретических и экспериментальных данных. Отклонение реальной траектории от теоретической, при изготовлении звеньев механизма по 7...8 квалитетам, а зубчатых колес по 8 классу точности, не превышает 0,25% от шага подачи при доверительной вероятности 0,95.

6. Результаты работы позволяют решать задачу повышения производительности автоматической линии с неподвижными рабочими позициями, реализующих технологические процессы с операциями различной длительности выполнения.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Варыпаев С.Э. Катков И.П. Влияние траектории транспортирования предметов обработки на характеристики автоматического оборудования // Научно-технические проблемы машиностроения и приборостроения: Тезисы докладов Российской научно-технической конференции / Под ред. В.Ф. Безъязычного. — Рыбинск: РАТИ, 1994. — С. 224 - 225.

2. Варыпаев С.Э., Катков Н.П. Оценка эффективности транспортно-загрузочного устройства автоматической линии // Вопросы оборонной техники. Серия 13, — выпуск 1 - 2 (8889), 1994. — С. 26 - 27.

3. Варыпаев С.Э., Катков Н.П. Расчет параметров транспортно-загрузочного устройства, обеспечивающий безопасное обслуживание автоматической линии // Безопасность жизнедеятельности. — Челябинск: ЧГТУ, 1992. — С. 121 - 125.

4. Варыпаев С.Э., Катков Н.П. Расчет параметров циклондальной грейферной подачи с планетарным приводом // Безопасность жизнедеятельности. — Челябинск: ЧГТУ, 1995.

5. Варыпаев С.Э. Обеспечение плотного размещения рабочих позиций в автоматических линиях карусельного типа // Исследование машин и технологии кузнечно-штамповочного производства. — Челябинск: ЧГТУ, 1994. — С. 95 - 101.

6. Заявка № 93026952 от 02.05.93 МКИ В 23 Q 7/02 Устройство транспортирования предметов обработки / Варыпаев С.Э. Катков Н.П.; решение о выдаче патента от 25.10.94.

7. Заявка № 94002555 от 26.01.94 МКИ В 23 Q 7/02 Транспортно-загрузочное устройство / Варыпаев С.Э., Катков Н.П.; решение о выдаче патента от 31.03.95.

8. Патент N 2030274 МКИ В 23 Q 7/04 Многопозиционная технологическая машина / Варыпаев С. Э., Катков Н. П. - N 5054830/08 заявлено 15.07.92; опубликовано 10.03.95. БИ № 7.

Издательство Челябинского
государственного технического университета

ЛР № 020364 от 20.01.92. Подписано в печать 22.02.96. Формат
60x84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л.1,16. Уч.-изд.л.1,00.
Тираж 80 экз. Заказ 40/86.

УОИ издательства. 454080, г.Челябинск, пр. им.В.И.Ленина, 76.