

М411838

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ им. Н.Э.БАУМАНА

НА ЛОТ 1
ОСТА

На правах рукописи

АПАТОВ Юрий Леонидович

УДК 621.757 - 52

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СБОРОЧНЫХ
ПРОЦЕССОВ

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 1984 г.

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель — Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор
КОРСАКОВ В.С.

Официальные оппоненты— доктор технических наук,
профессор КИСЕЛЕВ Г.А.
— кандидат технических наук,
ЗОЛОТАРЕВСКИЙ Ю.М.

Ведущее предприятие — НПО ВНИТИПрибор г.Москва

Защита состоится " 27 " февраля 1984 г. на заседа-
нии специализированного Совета по технологии машиностроения
К.053.15.15. Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской ре-
волюции и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического
училища имени Н.Э.Баумана, расположенного по адресу: Мос-
ковская область, г.Серпухов, ул. Мухоморова, д. 10.

С диссертации
Н.Э.Баумана.

Ваш отзыв
печатью учредителя

Автореферат

Ученый секретарь
кандидат технических наук,
доцент

Типография
1-82
Подписано

М 411838

Актуальность тем. В настоящее время свыше 90% сборочных работ выполняется вручную, 5% автоматизировано посредством переналаживаемых автоматов и лишь 2% выполняется с использованием промышленных роботов (ПР).

Серийное производство составляет 70-75% от всего объема промышленного производства, причем трудоемкость сборки здесь составляет 40...45% трудоемкости изготовления изделия. Исходя из этого роботизация сборочных процессов является крупным резервом повышения эффективности общественного производства.

Из большого многообразия сопряжений деталей соединения по цилиндрическим поверхностям составляют 40...50%, из них около 80% выполняется по посадкам с гарантированным зазором. При этом большинство узлов содержит 3...5 и более компонентов.

Широкое внедрение ПР при автоматизации сборки является комплексной проблемой, обусловленной недостаточно высокой производительностью процесса, сложностью обеспечения его точности, безотказности и технологической гибкости. Промышленные роботы в большинстве случаев уступают квалифицированному сборщику в скорости выполнения сборочных операций.

В настоящее время отсутствует методика проектирования операций многокомпонентной сборки и технологических средств их обеспечения, а также не изучены технологические возможности промышленных роботов в этих условиях.

В связи с вышеизложенным, исследование технологических возможностей промышленных роботов при автоматизации сборки и путей повышения производительности сборочных роботизированных процессов является важной народно-хозяйственной и социальной задачей, актуально на современном этапе развития технологии машиностроения.

Цель работы - повышение производительности роботизированных сборочных процессов на основе изучения технологических возможностей ПР, использования принципов групповой технологии и создания рациональных средств технологического обеспечения.

Методы исследования. Исследования роботизированного процесса сборки и технологических возможностей ПР выполнены расчетно-аналитическими и экспериментальными методами. Теоретические зависимости параметров изучаемого процесса получены с привлечением математического аппарата динамики несвободных систем, анали-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1411838

Апатов Ю.П. Исследование т...



тической геометрии, алгебры логики, теории вероятностей и неразрывно связаны с положениями технологии машиностроения. При реализации математической модели процесса сопряжения деталей роботом применялась ЭВМ ЕС-1033. С целью проверки результатов теоретических исследований и получения дополнительных данных для методики построения технологической операции и проектирования захватных органов ПР, проводились широкие экспериментальные исследования, включающие натурные эксперименты с регистрацией 18 параметров, ускоренную киносъемку процесса; проводились длительные исследования возможностей ПР в условиях действующего производства.

Научная новизна. 1. В работе выявлены взаимосвязи размерного, кинематического и динамического характера и физическая сущность процесса многокомпонентной сборки цилиндрических сопряжений с гарантированным зазором, а также деталей некруглого профиля в поперечном сечении. Установление закономерностей процесса послужило основой для его математического описания, получения ряда зависимостей и разработки новых схем выполнения роботизированных сборочных операций повышенной производительности, методов и средств обеспечения условий безотказности.

2. Получены аналитические зависимости для расчета ожидаемой производительности сборочных роботизированных комплексов и сопоставления их вариантов.

3. Предложен и научно обоснован метод повышения безотказности сборки с исходной погрешностью захватными органами направленной жесткости обеспечением дополнительного вращательного движения присоединяемых роботом деталей.

4. Получено доказательство возможности последовательной сборки многокомпонентного изделия посредством поворотных рабочих органов.

5. Экспериментально определены области рационального применения способов обеспечения точности процесса роботизированной сборки.

Практическая ценность. Практическую ценность работы представляют.

1. Научно обоснованная методика построения роботизированной операции многокомпонентной сборки.

2. Расчетные зависимости и номограммы, позволяющие проводить сопоставление вариантов по затратам времени в рабочем цикле робота.

3. Основанные на выявленных закономерностях процесса рекомендации по конструированию и расчету групповых захватных органов сборочных роботов, примеры конструктивного исполнения, включая захваты активно компенсирующего типа.

4. Рекомендации по проведению группирования объектов сборки и организации гибких роботизированных сборочных участков согласно предложенным типовым компоновкам.

Реализация работы. Результаты работы в виде методики построения технологической операции, конструирования и расчета захватных органов промышленных роботов внедрены на промышленном предприятии при создании робототехнического комплекса сборки серийно выпускаемой продукции. Кроме того, они использованы при разработке средств технологического оснащения участка групповой роботизированной сборки для завода АТЭ им. 60-летия Октября г. Москва. Материалы по исследованию технологических возможностей ПР на наиболее распространенных типов переданы в проектную организацию ОРГСТАНКИПРОМ в плане выполнения хозяйственных работ. Рабочие чертежи опытных образцов оснастки для сборочных роботов направлены в адреса предприятий, заинтересовавшихся материалами авторских свидетельств, полученных при выполнении работы.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались:

- на всесоюзной конференции "Проблемные вопросы автоматизации производства", Краснодар, 1981 г.;

- на всесоюзной научно-технической конференции "Использование методов поверхностно-пластического деформирования материалов в машиностроении", Владимир, 1981 г.;

- на республиканском совещании "Механизация и автоматизация ручных и трудоемких работ в машиностроении", Ижевск, 1981 г.;

- на всесоюзном научно-техническом семинаре "Опыт разработки и внедрения автоматических манипуляторов и технологических комплексов с их использованием", Москва, 1982 г.;

- на научно-технической конференции "Применение манипуляторов и промышленных роботов", Москва, 1982 г.;

- на всесоюзном научно-техническом семинаре "Опыт разработки и внедрения передовых технологических решений в области сборочного производства на предприятиях Минсельхозмаша", Павлодар, 1982 г.;

- на республиканской научно-технической конференции "Повышение эффективности производства механизацией и автоматизацией механосборочных и вспомогательных процессов в машиностроении (с применением промышленных роботов и манипуляторов)", Ташкент, 1983 г.;

- на научном семинаре кафедры АМ-3 МВТУ им.Баумана, 1983 г.

Публикации. Материалы диссертации отражены в 13 работах.

Объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка литературы, приложений и изложена на 149 страницах машинописного текста, содержит 146 рисунков, 21 таблицу, приложения, в том числе программу для ЭВМ, на 44 стр., список литературы из 123 наименований. Общий объем работы составляет 329 страниц.

Глава I содержит обзор вопроса автоматизации сборочных процессов с использованием роботов, анализ ранее выполненных научных исследований и производственных данных, на основании которых сделаны следующие выводы:

1. Роботизация сборочных процессов является весьма перспективным направлением развития современного производства, так как позволяет значительно снизить трудоемкость изготовления изделий в серийном производстве, способствует решению социальных задач в связи с ликвидацией тяжелого ручного труда.

2. Основной комплексной проблемой, сдерживающей широкое внедрение роботов в сборочное производство, является проблема повышения производительности роботизированных сборочных процессов, определяемой технологическими возможностями этих машин.

3. При технологической подготовке роботизированного производства требуется единая методика проектирования операций, учитывающая выбор рационального метода сборки, особенно более сложных многокомпонентных узлов и изделий, типовых компоновок технологических сборочных комплексов, расчетных зависимостей для сопоставления возможных вариантов построения операции по производительности, созданы средства технологического обеспечения роботов - групповых захватных органов и сборочных приспособлений.

4. Недостаточно изучена физическая сущность процесса сопряжения деталей роботом, и совсем не исследован процесс группового сопряжения, что не позволяет создавать универсальные рабочие органы ПР, в условиях действия значительных по величине исходных

погрешностей линейного и углового несовпадения осей собираемых деталей.

5. Точность позиционирования ПР при выполнении сборочных операций приобретает особое значение, хотя является лишь составляющей общей погрешности системы. Требуется изучение основных технологических факторов, определяющих ее величину.

6. Отсутствуют сведения о способах обеспечения требуемого уровня безотказности сборки и областях их использования.

Глава II содержит результаты анализа технологических возможностей применения промышленных роботов в сборочных процессах, при котором робот рассматривается как элемент сложной технологической системы (комплекса) с характерными связями (размерными, функционирования, временными). Наибольшее количество связей приходится на захватный орган ПР, что определяет его особую значимость в выполнении технологического процесса. Проанализированы разновидности сборочных роботизированных систем и получены критерии эффективного применения ПР для сборки типовых соединений, где наибольшее распространение имеют зазоры $\delta_p = 0,05 \dots 0,15$ мм, что предъявляет серьезные требования к точностным параметрам процесса.

Фактическая производительность ПР зависит от многих факторов, одним из которых является уровень безотказности, обуславливающий затраты времени на ликвидацию отказов, а также точность ориентации собираемых деталей, технологическая гибкость рабочих органов, способствующая уменьшению времени переналадок и др. Одним из условия повышения производительности роботизированного сборочного процесса является его дифференциация.

На основании проведенных в течение 2,5 лет производственных наблюдений за работой промышленных роботов наиболее распространенных типов с пневмоприводом и цикловой системой управления, получены статистические данные по общему количеству отказов, их разновидностям, среднему времени их устранения и переналадки, которые следует учитывать при расчетах ожидаемой производительности.

Установлено, что основу повышения производительности роботизированного процесса составляет схема построения технологической операции, особенно при реализации групповых принципов в сборке более сложных, чем "вал-втулка" соединений. В связи с этим, в работе предложены две схемы осуществления роботизиро-

ванной сборочной операции, базирующиеся на прогрессивном технологическом оснащении.

Первая схема характеризуется последовательной (однопоточной) сборкой узлов многопозиционными поворотными схватами, при которой робот переносит в сборочную позицию комплект деталей, составляющих объект сборки, после чего осуществляет сопряжение каждой очередной детали с ранее им уже установленной базовой деталью. Изделия объединены в группы по конструктивно-технологическим признакам.

Вторая схема осуществляется путем параллельной (многопоточной) сборки с получением нескольких сопряжений и наиболее эффективна для сборки многокомпонентных изделий и групповых наладок. Обе схемы базируются на предложенных в работе способах обеспечения собираемости: за счет фиксации схвата робота в сборочной позиции по двум фиксаторам; с помощью устройств компенсации погрешностей, включенных в захватный орган ПР.

При последовательной сборке партии узлов штучно-калькуляционное время:

$$T_{шк}^{пос} = \sum_{i=1}^S \left[g_i \left(\sum_{l=1}^f t_{cl} + t_{хп} + t_{рп} + t_{хз} + \sum_{l=1}^{f-1} t_{cc} \right) \right] + \sum_{j=1}^{S-1} t_{пн} + \sum_{l=1}^{\beta} t_{от}, \quad (1)$$

при параллельной сборке:

$$T_{шк}^{пар} = \sum_{i=1}^S \left[\frac{g_i}{m} \left(\sum_{l=1}^f t_{cl} + \sum_{l=1}^f t_{хп} + \sum_{l=1}^f t_{рп} + \sum_{l=1}^f t_{хз} + \sum_{l=1}^f t_{рз} \right) \right] + t_{пн} + \sum_{l=1}^{\beta} t_{от}, \quad (2)$$

где g — количество узлов в партии; t_c — время выполнения сопряжения (основное время); $t_{хп}$, $t_{рп}$, $t_{хз}$, $t_{рз}$ — соответственно время холостого и рабочего времени перемещения руки ПР, холостого и рабочего движения срабатывания схвата; $t_{пн}$, $t_{от}$ — время, затрачиваемое на переналадку, перепрограммирование и устранение отказов соответственно; m — количество деталей в групповом схвате робота; f — число деталей в собираемом узле; S — количество узлов в группе; t_{cc} — время срабатывания схвата при повороте; φ , β — число отказов при сборке.

Анализ цикловой производительности, выполненный по сокращению длительности рабочего цикла ПР при работе по предложенным схемам показал, что возможно повышение последней в 3...5 раз при числе позиций сборки (мест схвата) $m = 2...6$ за счет сокращения вспомогательного времени, достигающего 90% продолжительности рабочего цикла ПР. Получено 10 типовых компоновок сборочных комплексов с циклограммами и номограмма для сопоставле-

ния вариантов по ожидаемой производительности.

Глава III содержит результаты теоретического исследования процесса групповой роботизированной сборки, осуществляемого посредством параллельного сопряжения, либо по последовательной схеме.

Точность сборочной роботизированной системы определяется величиной суммарной погрешности взаимной ориентации собираемых деталей, которую следует рассматривать не в точке позиционирования руки ПР, а в плоскости сопряжения в момент первоначального контактирования деталей. Увеличение погрешности, при наличии угла δ наклона оси присоединяемой детали ($\Delta\delta_c$) на длине сопряжения (H_c):

$$\Delta\delta^c = H_c \sin \delta = \sqrt{(\Delta\delta_x^c)^2 + (\Delta\delta_y^c)^2} \quad (3)$$

где $\Delta\delta_x^c$ и $\Delta\delta_y^c$ — погрешности от угла наклона в проекции на оси координат. При жесткой сборке:

$$\vec{\Delta}_\Sigma^c = \vec{\Delta}_\Sigma + \vec{\Delta}\delta^c \leq R, \quad (4)$$

где R — радиус зоны с вероятностью $P_c=100\%$ сборки, $\vec{\Delta}_\Sigma$ — суммарная линейная погрешность несовпадения осей.

При условии, что погрешности от износа при сборке ограниченной партии узлов с обязательной последующей переналадкой и от температурных деформаций робота при сборке без температурного воздействия и с хорошим теплоотводом, за счет обдува при движении, близки к нулю, суммарная погрешность при групповом сопряжении определяется:

$$(\Delta_\Sigma)_i = \Delta_{н(0)} + \sqrt{\Delta_{nn}^2 + (\delta B_z)^2 + \delta_z^2 + \delta_d^2 + \delta_n^2 + \delta e_o^2 + (\delta A_z)^2 + \delta_\phi^2}, \quad (5)$$

где $\Delta_{н(0)}$ — погрешность настройки, "обучения" робота; Δ_{nn} — погрешность повторного позиционирования ПР; δB_z , δA_z — отклонения от номиналов межцентровых размеров многопозиционного схвата и базовых отверстий, соответственно; δ_z — погрешность положения деталей в схвате; δ_d — погрешность несовпадения осей захватываемой и сопрягаемой поверхностей деталей; δ_n , δe_o , δ_ϕ — погрешности, обусловленные установкой базовой детали в приспособление, погрешность размера сменного элемента, размера до базовой поверхности приспособления и фиксации подвижных частей приспособления, соответственно.

Технологические возможности ПР при жесткой сборке ограничены соединениями с радиальными зазорами $\delta_p \leq 0,2 \dots 0,3$ мм для последовательной и $\delta_p \geq 0,3 \dots 0,5$ мм — при параллельной сборке, даже при использовании высокоточных роботов.

Безотказность процесса жесткой параллельной сборки как вероятность сложного события выражается:

$$P_c = \prod_{i=1}^m \left[\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \int_0^R e^{-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}} dz \right) \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_r} \int_0^{[r]} e^{-\frac{r^2}{2\sigma_r^2}} dr \right) \right]^{(6)}$$

где z — действительная погрешность линейного положения присоединяемой детали; r — действительная погрешность углового положения; R и $[r]$ — допустимые условиями сборки значения этих погрешностей; σ_z и σ_r — среднеквадратические отклонения этих величин.

На сокращении количества звеньев размерной цепи, введением упругого элемента и доориентации захватного органа двумя фиксаторами, один из которых (центральный) служит одновременно осью вращения поворотного схвата, основан способ обеспечения собираемости, применение которого целесообразно для соединений с зазорами $\delta_p \geq 0,1 \dots 0,2$ мм, в том числе бесфасочных.

Расширение технологических возможностей промышленных роботов в направлении сборки более точных цилиндрических соединений с $\delta_p = 0,01 \dots 0,1$ мм, а также увеличение номенклатуры за счет сопряжений некруглого профиля (шлицевых, шпоночных и т.п.), возможно путем применения принципа компенсации погрешностей.

Посредством логических высказываний определены геометрические условия сборки и необходимый набор движений деталей, устанавливаемых роботом.

На основании такого анализа в работе были предложены механизмы, названные активно — компенсирующими, которые в случае больших погрешностей, путем деформации в осевом направлении от поступательного движения руки ПР, сообщают присоединяемой детали дополнительное движение вращения вокруг продольной оси, проходящей через точку контактирования с базовой деталью. Движение поиска до совмещения профилей обусловлено направленной жесткостью наклонно друг за другом закрепленных упругих опор.

Ввиду возможности заклинивания деталей при сборке с упруги-

ми компенсаторами, как это показано в работах А.А.Гусева, В.Буд-
 няка, J.L.Nevinsa, R.D.Schrafta, приводящего к отказу и в ко-
 нечном счете к потере производительности, проведены теоретичес-
 кие исследования динамики процесса сопряжения с предложенными
 механизмами, встраиваемыми по модульному принципу в групповые
 переналаживаемые схваты роботов.

Определена возможность параллельной сборки с разнонаправ-
 ленными векторами погрешностей ($\vec{\Delta}_\Sigma$); ввиду незначи-
 тельного силового взаимодействия отдельных деталей групповой налад-
 ки, при котором сборочное усилие (F_Σ) и его радиальная со-
 ставляющая (F_R) не превышают $F_\Sigma(F_R) \leq 15...20H$.

Теоретически обоснована возможность сборки по цилиндричес-
 ким поверхностям с исходным кромочным двухточечным контактом и
 совмещением профилей по сложной траектории, представляющей ком-
 бинацию поступательного движения при скольжении по кромкам и
 далее по фаске и вращения вокруг точки контактирования присоеди-
 няемой детали. При этом $[\Delta_\Sigma]_i = 1,1...1,3 \sum C$, где $\sum C$ - сум-
 ма катетов фасок на деталях. С увеличением диаметра сопряжения
 и радиального зазора величина допустимой погрешности возрастает,
 достигая при $D_{ном} = 15...30$ мм, $\delta_P = 0,05...0,1$ мм значений
 $\Delta_\Sigma = 1,2...1,8$ мм.

С помощью зондирующих экспериментов и ускоренной киносъем-
 ки выявлено 4 этапа процесса сопряжения, в каждом из которых
 действует своя совокупность сил. Получены формулы для расчета
 этих сил и величины наибольшей возможной компенсации погрешнос-
 ти на каждом из этапов, а также предельно допустимых значений
 углов наклона оси $[\gamma]$, на основании которых определяются
 параметры безотказного процесса сопряжения, а также д и ные для
 проектирования рабочих органов сборочных роботов: углы наклона
 опор (β_n), их жесткость (j_0, j_p) в осевом и радиальном
 направлениях, расстояние (z) между опорами, количество послед-
 них (n).

Величина угла наклона осей присоединяемых роботом деталей
 определяется из соотношения:

$$\gamma = \arcsin \frac{2S_1 e}{z^2 + z^2_n \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \alpha}, \quad (7)$$

где S_1 - величина перемещения руки ПР; e - смещение осей от-
 верстия и вала; α - проекция угла наклона опоры на плоскость.

Величины компенсации погрешностей по этапам схвата в радиальном направлении, определяемое, например, для этапа 4:

$$\Delta K_{(i)} = \rho_{(i)} + \gamma_{(i)} \ell_d, \quad (i = 2, 3, 4), \quad (8)$$

$$\rho_{(4)} = \frac{(\bar{J}_c + m z_4^2) \varepsilon - \frac{d_a}{2} \gamma \bar{F}_x + (\ell_v + d_a \gamma)(\bar{F}_x + F_{сб})}{(\ell_d \gamma - \ell_d + C_v + \frac{d_a}{2} \gamma) j_R},$$

при этом $\bar{F}_x = F_{T(1)} + F_{T(2)} + F_{ин}$,
 где γ - угол наклона оси (рад); d_a - диаметр вала (присоединяемой детали); ℓ_d - длина детали; ℓ_v - длина сопряжения; C_v - величина фаски на валике; j_R - жесткость механизма в радиальном направлении; $\bar{J}_c$ - момент инерции продольного сечения (прямоугольника) вала; m - масса детали; z_4 - расстояние от центра сечения до мгновенного центра вращения; ε - угловое ускорение; $F_{T(1)}$, $F_{T(2)}$ - силы трения в точках контактирования; $F_{ин}$ - сила инерции, препятствующая движению детали; $F_{сб}$ - сборочное усилие в данной паре сопряжения.

Глава IV посвящена экспериментальным исследованиям процесса роботизированной сборки, с целью проверки основных теоретических положений и апробации предложенных схем сборки. Исследования строились следующим образом. На первом этапе проводились эксперименты, на основании которых получены парные зависимости изучаемых факторов при одно- и многопозиционной роботизированной сборке, а затем комплексные исследования по изучению влияния безотказности процесса на его производительность.

Была спроектирована и изготовлена технологическая оснастка, включающая групповые модульные захватные органы с устройствами компенсации двух типов, фиксируемые схваты, перенастраиваемое многоместное сборочное приспособление и др.

Эксперименты проводились на установке, содержащей промышленный робот "Циклон-ЗБ", а также РИТМ 03.01, модель сборочной позиции, специальный автоматический стенд и систему счета рабочих циклов и количества отказов. Использовался комплект контрольно-регистрирующей аппаратуры.

Образцами служили цилиндрические валики, втулки и корпусные детали с 2-6 отверстиями номинального диаметра $D_{ном} = 5,15,30$ мм при длине 40...60 мм, изготовленные из стали 45 ГОСТ 1050-74 НВ 220 с шероховатостью поверхностей сопряжения $\sqrt{2,5}$ фасок - R_{z20} . Суммарная величина фасок составляла: $\Sigma C = 0...2$ мм.

Радиальные зазоры $\delta_p = 0,005 \dots 0,1$ мм позволяли охватить по -
садки $\frac{H_6}{16} \dots \frac{H_9}{19}$. Проводилась также сборка шлицевого соединения
16x1,25x9H/9g Ст.СВ 259-76.

В исследованиях сопоставлялись способы сборки с фиксацией
схвата, с компенсацией погрешностей и простая, жесткая сборка,
устанавливались зависимости динамических параметров процесса от
величины исходных линейной и угловой погрешностей, включая по -
грешность позиционирования и захвата деталей роботом. Всего бы -
ло снято более 500 м осциллограмм и сделано около 10000 заме -
ров.

При сборке с компенсаторами предложенных типов получило
подтверждение теоретическое положение о малости сборочных уси -
лий, которые оказались в 3...4 раза меньшими, усилий жесткой
сборки, возрастая на 20...25% с увеличением числа параллельно
выполняемых соединений на единицу и на 55...60% при уменьшении
 δ_p с 0,1 до 0,005 мм. В пределах погрешности $\Delta_z = 1,2 \dots$
1,4 мм и $\delta_z = 5^\circ$ $F_z \leq 25H$, а при наиболее распространен -
ной величине $\Delta_z = 0,5 \dots 0,6$ мм отмечено $F_z (F_R) \leq 10H$.
Небольшое возрастание сборочного усилия обусловило возможность
увеличения позиционности сборки без заметного ухудшения динами -
ки процесса.

Определены и математически описаны траектории движения при -
соединяемых роботом деталей, которые представляют параболу, опи -
сываемую (при $D_{нзм} = 30$ мм, $\Delta_z = 2,56$ мм, $\delta_p = 0,1$) уравнением:

$$y = 11,701 - 8,777x + 1,667x^2, \quad (9)$$

где y, x - текущие координаты центра торца валика.

Угловая погрешность δ_z оказывает большее влияние на си -
ловые параметры и время сопряжения при всех методах сборки.

Сборку шлицевых соединений этими же схватами целесообразно
проводить в две стадии - по цилиндрической проточке, которая
занимает около 20% длительности цикла, затем по шлицевому про -
филю. При этом отмечается устойчивая сборка при $\Delta_z \leq 2$ мм и
угловом развороте на $0,5 t$ (углового шага зубьев), что соот -
ветствовало $\varphi = 11^\circ$ с усилиями $F_z = 8 \dots 12H$. Скорость
сборочного движения руки ПР была: $V_{p,x} = 250$ мм/с.

Погрешность позиционирования ПР оказывает заметное влия -
ние на безотказность процесса сборки, т.к. в общем балансе эле -
ментов суммарной погрешности достигает 25...40%. Она в наи -

соединений с зазором 0,005 мм со смещением до 0,8 мм.

5. Полученные теоретические зависимости для расчета сборочных усилий при роботизированной многокомпонентной сборке от величин смещения осей необходимы для проектирования захватных органов, выбора характеристик и установления технологических условий выполнения сборки.

6. Экспериментами выявлено незначительное влияние скорости выполнения сборки с компенсаторами на сборочное усилие. Это позволяет повысить скорость сборки в 2-3 раза против практикуемых в настоящее время.

7. В работе показано, что при сборке с предложенными компенсирующими схватами, сборочное усилие уменьшается в сравнении с жесткой сборкой в 3-4 раза. Применение этих конструкций позволяет увеличить число одновременно закрепляемых в схвате деталей.

8. Сборочную позицию целесообразно располагать ближе к центру рабочей зоны ПР. Это уменьшает на 20-30% погрешность позиционирования, сокращает требуемую площадь для РТК в результате более экономного расположения периферийных устройств, улучшает динамику процесса и сокращает время транспортных перемещений.

9. Разработана научно-обоснованная методика построения операций групповой роботизированной сборки. Она позволяет решать вопросы выбора схемы сборки, компоновки участков, расчета точности сборочной позиции и анализа безотказности процесса с помощью удобных для практического использования номограмм, производить расчет норм времени и выбирать тип робота.

10. Рационально спроектированные захватные органы расширяют технологические возможности сборочных роботов. Примененный в разработке захватных органов модульный принцип, позволяет повысить их универсальность, сократить время переналадок, снизить затраты на изготовление. Это соответствует требованиям гибкого автоматизированного производства. Разработанная программа для ЭВМ дает возможность определять параметры компенсирующих модулей групповых захватных органов.

11. Внедрение результатов работы в производство на одном из предприятий в робототехническом комплексе сборки изделий позволило получить годовой экономический эффект в размере 15,7 тыс.руб., за счет снижения трудоемкости сборки, высвобождения рабочего, повышения качества выпускаемой продукции.

Содержание и основные результаты работы изложены в следующих публикациях :

1. Корсаков В.С., Апатов Ю.Л. Некоторые вопросы использования сборочных роботов с групповыми захватными органами в автоматизированной технологической системе серийного производства. - Основные проблемы развития технологии машиностроения. - М., 1981, с.105-107.

2. Корсаков В.С., Апатов Ю.Л. Особенности применения промышленных роботов при автоматизации групповых сборочных процессов в серийном производстве. - Механизация и автоматизация ручных и трудоемких работ в машиностроении: - Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции. - Ижевск, 1981, с.3-5.

3. Корсаков В.С., Васильевых Л.А., Апатов Ю.Л. Специфика выполнения технологических процессов групповой сборки с применением промышленных роботов в серийном производстве. - Использование методов поверхностно-пластического деформирования материалов в машиностроении: - Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции. - Владимир, 1981, с.122-123.

4. Корсаков В.С., Апатов Ю.Л. Технологическое обеспечение сборочных роботов. - Опыт разработки и внедрения автоматических манипуляторов и технологических комплексов с их использованием: - Тезисы докладов всесоюзного научно-технического семинара. - М., 1982, с. 52-54.

5. Разработка методики и нормативно-справочных материалов для проектирования технологических процессов механизированной и автоматизированной сборки в станкостроении: Отчет МВТУ; Руководитель работы В.С.Корсаков, № ГР 01820081119, Инв. №АО 399-79. - М., 1981.

6. Апатов Ю.Л. Технологические возможности применения промышленных роботов при автоматизации сборочных процессов в машиностроении. - Опыт разработки и внедрения передовых технологических решений в области сборочного производства на предприятиях Минсельхозмаша: - Тезисы докладов научно-технической конференции. - Павлодар, 1982, с.23-27.

7. Апатов Ю.Л. Роботизация сборки групп изделий в серийном и мелкосерийном производстве. - Повышение эффективности производства механизацией и автоматизацией механосборочных и вспомогатель-

ных процессов в машиностроении :- Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции. - Ташкент, 1983, с. 32-33.

8. Разработка методических рекомендаций по эффективному использованию промышленных роботов на операциях механической обработки: Отчет МВТУ; Руководитель работы Р.К.Мещеряков, № ГР 81017627; Инв. № АО 306-80. - М., 1983.

9. Апатов Ю.Л. Повышение безотказности роботизированной сборки деталей применением компенсирующих захватных органов. МВТУ. М., 1983. - 15 с., ил. Библиогр. 3 назв. (рукопись деп. в НИИМаш 24 июня 1983 г., № 204 мш - Д83).

10. Корсаков В.С., Апатов Ю.Л. Технологические возможности применения промышленных роботов в сборочном серийном производстве и пути их расширения. МВТУ. М., 1983. - 14 с., ил. Библиогр. 4 назв. (Рукопись деп. в НИИМаш 8 июля 1983 г., № 227 мш - Д 83).

11. А.с. № 975305 (СССР). Многопозиционное зажимное устройство / В.С.Корсаков, Л.А.Васильевых, Ю.Л.Апатов. - Оpubл. в Б.И. 1982, № 43.

12. А.с. № 975389 (СССР). Групповой схват промышленного робота / В.С.Корсаков, Л.А.Васильевых, Ю.Л.Апатов. - Оpubл. в Б.И. 1982, № 43.

13. А.с. № 984234 (СССР). Многопозиционное захватное устройство промышленной робота / В.С.Корсаков, Л.А.Васильевых, Ю.Л.Апатов - Оpubл. в Б.И., 1983, №5.

Апатов

