

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 621.9

В. Е. КАРПУСЬ, д-р техн. наук (Национальный ТУ "Харьковский политехнический институт"),
В. А. ИВАНОВ, канд. техн. наук (Сумский государственный университет, Украина, г. Сумы),
e-mail: karpus_vladislav@i.ua

Выбор оптимальной компоновки универсально-сборных переналаживаемых приспособлений

Разработаны система многокритериальной оптимизации компоновок установочно-зажимных приспособлений из множества сформированных конкурирующих вариантов, принцип автоматизированного формирования последних на основе библиотеки функциональных элементов и система функциональных элементов универсально-сборных переналаживаемых приспособлений.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, установочно-зажимное переналаживаемое приспособление, синтез, погрешность базирования, гибкость.

The system for multi-objective optimization the assemblies of setting-clamping adaptations from a set of formed competing options, the automated formation principle of theirs based on the functional elements library, and the system of functional elements of universal modular re-adjustable attachments have been developed.

Keywords: multi-objective optimization, setting-clamping re-adjustable attachment, synthesis, basing error, flexibility.

Установочно-зажимные приспособления (УЗП), предназначенные для базирования и закрепления заготовок при обработке на металлорежущих станках, оказывают значительное влияние на эффективность технологической операции, обеспечивая реализацию всех возможностей оборудования.

Структура УЗП — иерархическая и состоит из четырех уровней, отличающихся числом компонентов и степенью обобщения (рис. 1). Соотношения между составляющими каждого уровня обуславливают объединение структурных единиц нижних уровней в структурные единицы более высоких уровней. Каждый конструктивный элемент характеризуется заданными конструктором формой, размерами и назначением. Деталь формируется совокупностью конструктивных элементов, которые сгруппированы для выполнения определенной функции.

Функциональный модуль — самостоятельная часть УЗП, которая состоит из деталей и(или) сборочных единиц, объединенных единым функцио-

нальным назначением. Например, базирующий модуль для установки ступенчатого вала при обработке на сверлильных и фрезерных станках состоит из сменных наладок, которые обеспечивают базирование заготовки по внешним цилиндрическим поверхностям, и упора, который базирует вал по торцу, реализуя опорную базу. Таким образом, все составные части базирующего модуля в совокупности имеют единое функциональное назначение — базирование обрабатываемой заготовки в УЗП.

Наивыгоднейшую компоновку УЗП выбирают на основе многокритериальной оптимизации, которая предусматривает формирование конкурирующих вариантов компоновок УЗП (рис. 2).

На основе исходных данных, приведенных на рабочем чертеже и операционном эскизе детали, подлежащей обработке на данной операции, а также в технологической документации и задании на проектирование УЗП, с учетом условий производства можно определить функциональные элементы, которые необходимы для реализации теоретической схемы базирования заготовки. Возможные конструкции элементов УЗП содержатся в библиотеке функциональных элементов (рис. 3).

Библиотека сформирована из групп элементов, выполняющих одинаковые функции в конструк-

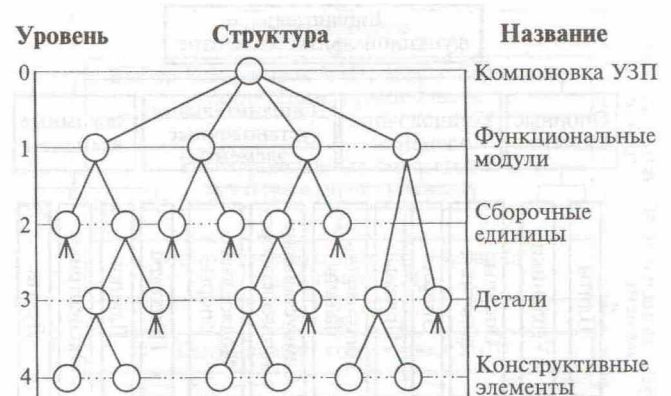


Рис. 1. Иерархическая структура УЗП

ции УЗП, например: к группе опорных элементов (ОЭ) относятся плиты и угольники; к установочным элементам (УЭ) — опорные пластины, опоры, призмы, установочные пальцы; к дополнительным УЭ — самоустанавливающиеся и подводимые опоры; к зажимным элементам (ЗЭ) — разные конструкции прихватов, планок, рычагов и т. п.

Решение проектно-конструкторских задач связано с выбором типовых решений, которые определяются некоторым множеством параметров или условий. Как правило, такие задачи имеют слож-



Рис. 2. Схема формирования конкурирующих вариантов компоновок УЗП

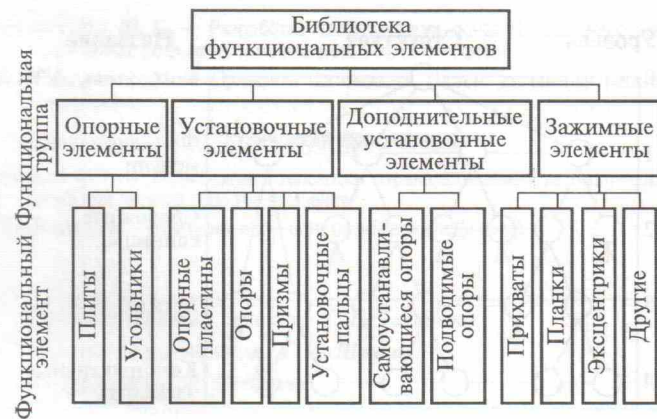


Рис. 3. Структура библиотеки функциональных элементов

ные логические взаимосвязи между условиями и решениями. Для наглядного и компактного представления данных используют табличные методы, которые позволяют сократить время на постановку задачи, программирование, а также на выявление возможных ошибок и некорректностей. При решении задач наиболее распространенными табличными методами используют таблицы решений, что дает ряд преимуществ при автоматизированном проектировании: таблицы достаточно просто составляются и легко проверяются на полноту, противоречивость и избыточность информации, они позволяют изменять значения и добавлять параметры.

Библиотека функциональных элементов сформирована на основе таблиц решений для каждой группы функциональных элементов: опорных, установочных, дополнительных установочных и зажимных. Конструкции опор отличаются видом головки опоры, максимальной нагрузкой на опору, возможной регулировкой по высоте, степенью автоматизации переналадки, а также назначением в зависимости от качества базовой поверхности заготовки. Призмы и установочные пальцы выбирают в соответствии с состоянием базовой поверхности заготовки, диаметрами базовых поверхностей, способом и степенью автоматизации переналадки. ЗЭ выбирают в соответствии со степенью автоматизации процесса переналадки, диапазоном регулирования, минимальной и максимальной высотой заготовки, максимальной силой закрепления.

Таким образом, каждая группа функциональных элементов содержит конструкции единого функционального назначения, которые отличаются техническими показателями, а следовательно, имеют определенную эффективную область применения. Для идентификации элементов в библиотеке каждый элемент имеет код.

Учитывая исходные данные и технические характеристики элементов, для каждой из групп можно сформировать некоторое число конкурирующих вариантов, причем для разных групп оно будет различным. Так, в общем случае из группы ОЭ можно подобрать от одного до k вариантов ОЭ, m вариантов УЭ, n вариантов дополнительных УЭ и p вариантов ЗЭ.

На основе выбранных отдельных элементов можно создать множество конкурирующих вариантов компоновок УЗП, общее число которых равно произведению вариантов для каждой из групп: $q = kmnp$.

Любую компоновку УЗП можно записать в виде структурной формулы, которая представляет собой буквенно-цифровой код, состоящий из четырех групп (I–IV), отделенных одна от другой знаком тире (рис. 4).

Группа I определяет тип приспособления и соответствует виду работ, которые выполняются в

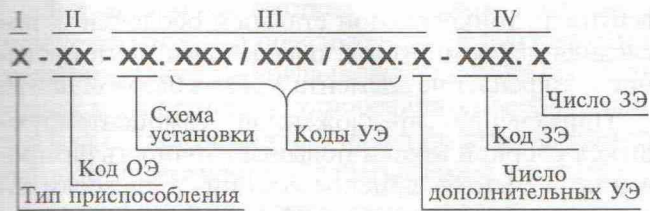


Рис. 4. Структурная формула компоновки УЗП

данном УЗП, например: С — сверильное, Ф — фрезерное, СФ — сверильно-фрезерное УЗП. В группе II приводится код опорного элемента из библиотеки функциональных элементов. Группа III характеризует базирующий модуль УЗП. Она содержит код схемы установки заготовки в УЗП и записанные за знаками "/" коды основных УЭ, реализующих теоретическую схему базирования, в зависимости от которой число видов УЭ, используемых при компоновке УЗП, может быть от 1 до 3. При числе УЭ меньше трех в поля, оставленные без кодов, записывается ноль. После основных УЭ указывается число дополнительных УЭ, которые предназначены для обеспечения необходимой жесткости заготовки в компоновке УЗП. В группу IV записывается информация о ЗЭ с указанием их числа в компоновке УЗП.

Так как многокритериальная оптимизация предусматривает разработку системы конкурирующих вариантов, при ручном формировании которых требуются чрезмерно большие затраты времени, то целесообразно этот процесс автоматизировать. Для этого предложена алгоритмическая структура системы выбора оптимальных компоновок УЗП (рис. 5), которая состоит из базы данных и трех модулей: модуля исходных данных, информационно-поискового и расчетного.

На выбор конструкции УЗП влияет множество факторов, основными из которых являются: конструктивные (форма, размеры, масса, жесткость деталей и т. д.); технологические (характер выполняемой операции, виды металлорежущего оборудования и режущего инструмента, схемы базирования и закрепления заготовок и т. п.); производственные (тип производства, годовая программа выпуска деталей в партии и т. п.); экономические, а также эргономические, эстетические характеристики УЗП и др.

Основные функции базы данных — накопление, уточнение, усовершенствование, хранение и предоставление информации о существующих разработках в соответствии с требованиями, которые возникают при оснащении операции. База данных системы автоматизированного синтеза компоновок УЗП включает в себя библиотеки: функциональных элементов; нормативно-справочной ин-

формации; сведений о металлорежущем оборудовании и инструменте.

Библиотека нормативно-справочной информации содержит: таблицы допусков и посадок; качества точности и данные о шероховатости поверхностей; нормативы на продолжительность обработки деталей, сборку компоновок УЗП и переналадку элементов; режимы резания.

Библиотека сведений о металлорежущем оборудовании и инструменте содержит технические характеристики металлорежущего оборудования, в частности характеристики рабочей зоны и посадочных мест станков, на которые устанавливается УЗП. Для сверильно-фрезерно-расточных станков, например, необходимы следующие данные: размеры рабочего стола; расстояние между пазами стола

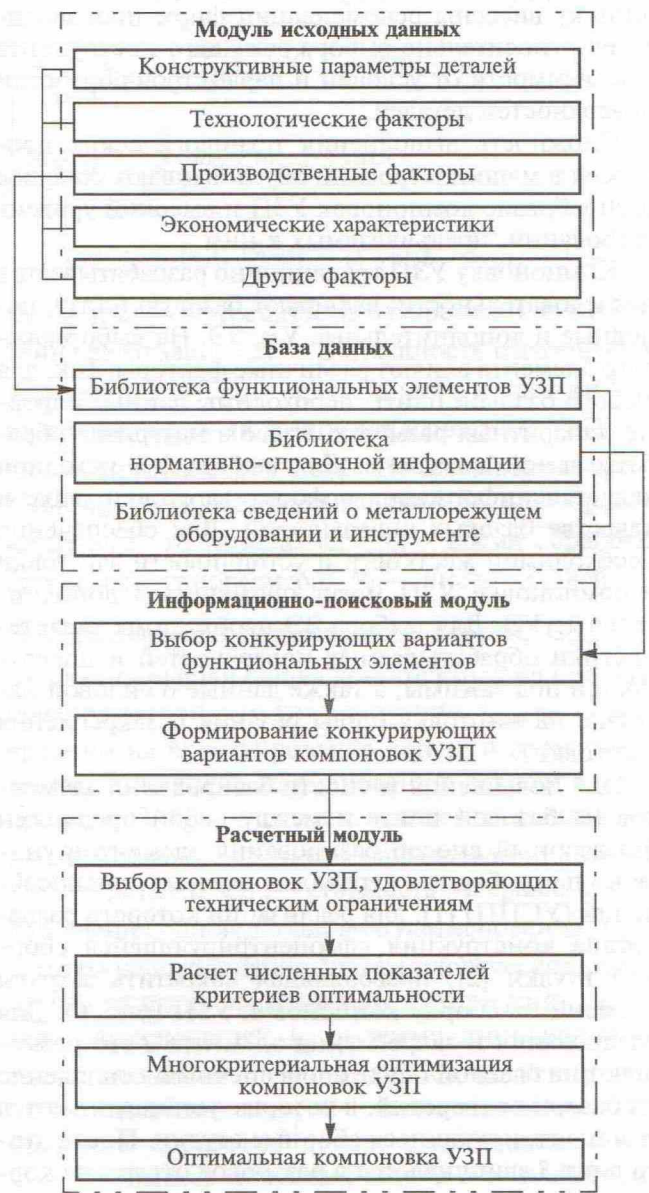


Рис. 5. Алгоритмическая структура системы синтеза компоновок УЗП

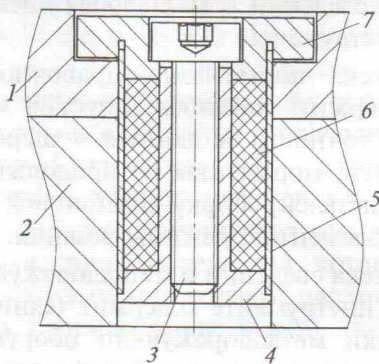


Рис. 6. Самоцентрирующаяся сборная втулка для безззорного базирования элементов УЗП

станка; расстояние от торца шпинделя до стола в крайнем верхнем положении. Кроме того, в библиотеку внесены рекомендации фирм-производителей относительно выбора режущего инструмента в зависимости от условий и параметров обработки поверхностей деталей.

Сложность выполнения технологических процессов в машиностроении обуславливают большое разнообразие компоновок УЗП и высокий уровень требований, предъявляемых к ним.

Компоновку УЗП традиционно разрабатывают в последовательности: выбирают базовую плиту, основные и дополнительные УЭ, ЗЭ. На выбор каждого элемента влияют различные факторы. Так, для выбора базовой плиты необходимы данные о форме, габаритных размерах, массе и материале обрабатываемой заготовки. Для выбора УЭ исходной является информация о форме заготовки, виде и качестве базовых поверхностей. Для обеспечения необходимой жесткости и устойчивости заготовки в компоновке УЗП могут применяться дополнительные УЭ. Для выбора ЗЭ необходимы характеристики обрабатываемых поверхностей и поверхностей под зажимы, а также данные о силовой нагрузке на заготовку (силы резания и закрепления заготовки).

Для повышения точности базирования элементов на базовой плите и между собой предложен безззорный способ базирования элементов универсально-сборных переналаживаемых приспособлений (УСПП) [1], для реализации которого разработана конструкция самоцентрирующейся сборной втулки [2], позволяющая сократить затраты времени на сборку компоновок УЗП (рис. 6). Для базирования и закрепления элемента 1 его размещают на базовой плите 2, обеспечивая совпадение их базовых отверстий, в которые устанавливаются самоцентрирующиеся сборные втулки. После этого винт 3 ввинчивается в резьбовое отверстие корпуса 4, перемещая крышку 7, которая сжимает гидропластмассу 6. Под действием гидропластмассы, которая равномерно давит на внутреннюю по-

верхность тонкостенной стальной оболочки 5, последняя деформируется, обеспечивая центрирование и закрепление элемента УЗП на базовой плите.

Применение предложенной самоцентрирующейся сборной втулки повышает точность базирования элементов приспособлений, а следовательно, уменьшает влияние УЗП на погрешность установки заготовки. Кроме того, эту втулку можно использовать для базирования заготовок по плоскости и двум отверстиям или по двум плоскостям и отверстию, что обеспечивает инструментальную доступность, например при контурной обработке, а следовательно, повышает эффективность сверлильных и фрезерных операций.

Для повышения эффективности использования станков в многономенклатурном производстве разработана и запатентована система конструктивных функциональных элементов, которые имеют высокую степень гибкости и обеспечивают быструю переналадку УЭ и ЗЭ в широком диапазоне размеров. Это позволяет минимизировать непродуктивные затраты времени, связанные с переналадкой УЗП при переходе на обработку деталей других типоразмеров. Конструкции предложенных базирующих модулей реализуют основные схемы базирования плоских и корпусных деталей, а также деталей типа тел вращения.

Для повышения точности базирования заготовок по плоским поверхностям предложена регулируемая опора [3], которая имеет основную шкалу и шкалу нониуса, что позволяет выполнять переналадку положения опоры с точностью 0,1 мм (исполнение 1) или 0,05 мм (исполнение 2) и значительно сократить затраты времени на переналадку.

Предложенный переналаживаемый базирующий модуль [4] обеспечивает базирование заготовок по плоскости, а также осуществляет автоматизированное регулирование положения опор с помощью винтового механизма.

Для реализации схемы базирования заготовок по плоскости и двум отверстиям предложена сменная плита [5], обеспечивающая инструментальную доступность при контурной обработке заготовок.

Для базирования заготовок по наклонным торцевым поверхностям целесообразно применять регулируемый упор [6], особенностью которого является возможность изменения положения опоры в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Регулируемая призма [7] позволяет повысить точность базирования цилиндрических заготовок в результате одновременного перемещения опор с помощью винтового механизма регулирования. Необходимое положение опор для установки заготовок определенного диаметра контролируется по шкалам, которые нанесены на опоры и соответствуют диаметрам базовых поверхностей заготовок обрабатываемой партии.

Для установки жестких заготовок типа диска или короткого вала предложена конструкция самоцентрирующего трехкулачкового патрона [8] с винтовым механизмом регулирования кулачков к центру или от центра корпуса на необходимый диаметр базовой поверхности обрабатываемой заготовки.

Заготовки, имеющие осевые отверстия большого диаметра, устанавливаются на разжимную оправку [9], обеспечивающую базирование заготовок в широком диапазоне диаметров базовых отверстий. Т-образное соединение плунжеров с клином позволяет надежно закреплять заготовки и свободно снимать обработанные детали.

Для закрепления заготовок с криволинейными базовыми поверхностями и при значительных отклонениях их от плоскостности разработана конструкция сменных губок [10] для машинных тисков. Базирование заготовок осуществляется с помощью четырех жестко закрепленных и шестнадцати самоустанавливающихся опор, находящихся в отверстиях корпуса.

Зажимной модуль [11] обеспечивает автоматизированное закрепление-раскрепление заготовок с помощью зубчато-реечного механизма регулирования и поворотного прихвата, что позволяет беспрепятственно снимать обработанные детали и устанавливать новые заготовки.

Выбор наиболее выгодного варианта компоновки УЗП является многокритериальной задачей, т. е. осуществляется с использованием системы целевых функций. При многокритериальной оптимизации невозможно обеспечить наилучшие решения по всем критериям, поэтому целесообразно использовать метод последовательных уступок [12]. При рассмотрении дискретных систем, которые состоят из отдельных объектов, характеризующихся совокупностью критериальных оценок, можно достаточно обоснованно назначать уступки по каждому из критериев при известных характеристиках компоновок УЗП. Применение метода последовательных уступок для выбора оптимальной компоновки УЗП не связано с субъективным назначением уступок, так как их величины будут объективными характеристиками каждого из конкурирующих вариантов компоновки УЗП. Согласно методологии при выборе компоновок УЗП сначала определяют критерии оптимальности, затем их анализируют и ранжируют по значимости: первый критерий самый важный, далее — с меньшей значимостью. В качестве критериев оптимальности УЗП авторами приняты следующие показатели: погрешность установки заготовки ($\varepsilon_y \rightarrow \min$), степень гибкости ($G_{УЗП} \rightarrow \max$), стоимость ($C_{УЗП} \rightarrow \min$), металлоемкость ($M_{УЗП} \rightarrow \min$).

Технические ограничения на выбор компоновки УЗП при оптимизации: погрешность установ-

ки не должна превышать допустимую величину, т. е. $\varepsilon_y \leq [\varepsilon_y]$; степень гибкости УЗП должна быть больше или соответствовать условиям производства, т. е. $G_{УЗП} \geq [G_{УЗП}]$; металлоемкость УЗП должна быть меньше, чем грузоподъемность стола станка, т. е. $M_{УЗП} < \Gamma_{ст}$. Математическая модель многокритериального синтеза структуры компоновки УЗП имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{изг}^2 + \varepsilon_{ус}^2 + \varepsilon_{изн}^2} \rightarrow \min; \\ G_{УЗП} = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=1}^n t_{пер i}}{\sum_{i=1}^n t_i N_i}} \rightarrow \max; \\ C_{УЗП} = \sum_{a=1}^b C_{к.пра}^a t_{пра} + \sum_{q=1}^r k_q \left(C_{mq} + \sum_{j=1}^m C_{jq} t_{jq} \right) + \\ + \sum_{e=1}^d C_e f_e + C_{сб}^q t_{сб} + C_H \rightarrow \min; \\ M_{УЗП} = \sum_{k=1}^p m_k + m_{зар} \rightarrow \min \end{array} \right.$$

$$\text{при } \varepsilon_y \leq [\varepsilon_y]; G_{УЗП} \geq [G_{УЗП}]; M_{УЗП} < \Gamma_{ст},$$

где ε_6 и ε_3 — погрешности базирования и закрепления заготовки; $\varepsilon_{изг}$ — погрешность изготовления элементов УЗП; $\varepsilon_{ус}$ — погрешность установки УЗП на станке; $\varepsilon_{изн}$ — погрешность износа УЭ УЗП; n — число типоразмеров деталей, обрабатываемых в УЗП; $t_{пер i}$ — время переналадки УЗП для обработки детали i -го типоразмера; t_i — время обработки детали i -го типоразмера; N_i — число деталей i -го типоразмера производственной партии; $C_{к.пра}^a$ — часовая тарифная ставка конструктора на проектирование детали a -го наименования; $t_{пра}$ — затраты времени на проектирование детали a -го наименования; b — число наименований деталей компоновки УЗП; k_q — число изготавливаемых деталей q -го наименования; r — число наименований изготавливаемых деталей; C_{mq} — стоимость материала для изготовления одной детали q -го наименования; C_{jq} — затраты на выполнение j -й технологической операции за единицу времени при изготовлении детали q -го наименования; t_{jq} — время выполнения j -й технологической операции при изготовлении детали q -го наименования; m — число технологических операций обработки детали q -го наименования; C_e — стоимость покупной детали e -го наименования, f_e — число покупных деталей e -го наименования; d — число наименований покупных деталей;

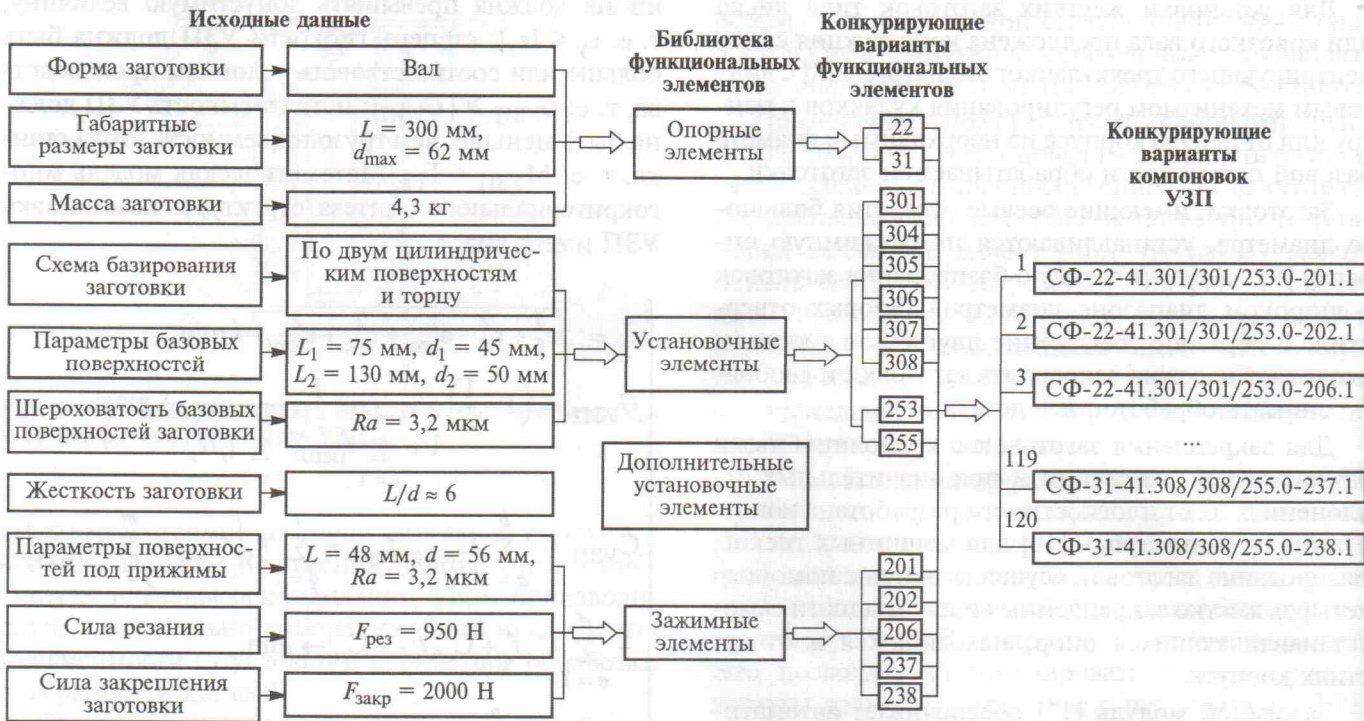


Рис. 7. Схема формирования конкурирующих вариантов компоновок УЗП для установки валов

$C_{сб}^ч$ — часовая тарифная ставка слесаря-сборщика; $t_{сб}$ — затраты времени на сборку УЗП; C_n — накладные затраты; m_k — масса k -й детали, входящей в компоновку УЗП; p — число деталей в компоновке УЗП; $m_{заг}$ — масса заготовки.

Многокритериальную оптимизацию по методу последовательных уступок выполняют так: определяют оптимальное значение по первому критерию и назначают величину уступки по нему, находят максимальное значение второго критерия и т. д. Система оптимизационных задач при этом имеет вид:

$$\begin{cases} K_1 = \inf \epsilon_y(u); \\ K_2 = \sup G_{узп}(u) \text{ при } \epsilon_y(u) \leq K_1 + \Delta \epsilon_y; \\ K_3 = \inf C_{узп}(u) \text{ при } G_{узп}(u) \geq K_2 - \Delta G_{узп}; \\ K_4 = \inf M_{узп}(u) \text{ при } C_{узп}(u) \leq K_3 + \Delta C_{узп}, \end{cases}$$

где u — конкретный вариант компоновки УЗП из множества U ; $\Delta \epsilon_y$, $\Delta G_{узп}$, $\Delta C_{узп}$ — уступки по критериям, величина которых определяется при их сравнении попарно и последовательно.

Полученное в результате оптимизации решение многокритериальной задачи, не обеспечивая оптимальности локальных критериев, будет наилучшим по совокупности характеристик.

В качестве примера выполнен синтез компоновок УЗП для установки валов при обработке на сверлильных и фрезерных станках. Конкурирующие варианты компоновок УЗП формируются на основе

исходных данных и библиотеки функциональных элементов (рис. 7). Для реализации схемы базирования заготовки "по двум внешним цилиндрическим поверхностям и торцу" из библиотеки функциональных элементов выбраны шесть типов призм (коды 301, 304—308 в библиотеке функциональных элементов) и две боковые опоры (коды 253, 255). Закрепить заготовку можно пятью зажимными элементами (коды 201, 202, 206, 237, 238), а разместить выбранные функциональные элементы — на двух базовых плитах (коды 22, 31).

На основе различных сочетаний выбранных функциональных элементов формируется множество конкурирующих вариантов компоновок УЗП, общее число которых определяется произведением чисел возможных вариантов для каждой группы. Для данной задачи число компоновок УЗП, которые отличаются по показателям точности, гибкости, стоимости и металлоемкости, равно 120.

В соответствии с алгоритмической структурой синтеза компоновок УЗП (см. рис. 5) из множества конкурирующих вариантов выбираем такие компоновки УЗП, которые удовлетворяют техническим ограничениям математической модели.

Допустимая погрешность установки заготовки $[\epsilon_y]$ определяется из соотношения $[\epsilon_y] = 0,7Td$, где 0,7 — коэффициент, соответствующий получистовой обработке поверхностей деталей [13], а Td — допуск на выполняемый размер (для расчетов принято $Td = 0,16$ мм, что соответствует обработке заготовок по качеству точности IT11). Таким образом, компоновки, которые обеспечивают погреш-

ость установки заготовки с величиной, меньшей $\varepsilon_y = 0,112$ мм, удовлетворяют точностным требованиям.

Для обеспечения высокой гибкости производства гибкость УЗП должна быть в пределах $0,25 \leq G_{УЗП} < 1$ [14]. Таким образом, компоновки УЗП должны удовлетворять требованию $G_{УЗП} \geq 0,25$.

Металлоемкость компоновки УЗП не должна превышать максимальную нагрузку на рабочий стол станка, которая в соответствии с технической характеристикой станка равна 200 кг. Следовательно, масса компоновки УЗП должна удовлетворять условию $M_{УЗП} < 200$ кг.

В результате выполнения многокритериальной оптимизации по разработанной системе критериев с учетом того, что допуск на выполняемый размер $Td = 0,16$ мм и число деталей производственной партии $N = 10$, установлено, что наиболее выгодной компоновкой УЗП для установки валов является компоновка со структурной формулой СФ-22-41.308/308/253.0-238.1, состоящая из базовой плиты (код 22), двух призм (код 308), боковой опоры (код 253) и прихвата (код 238) и характеризуемая критериальными оценками: $\varepsilon_y = 0,07$ мм; $G_{УЗП} = 0,67$; $S_{УЗП} = 69\ 800$ р.; $M_{УЗП} = 68,5$ кг. Гра-



Рис. 8. Графическая модель оптимальной компоновки УЗП

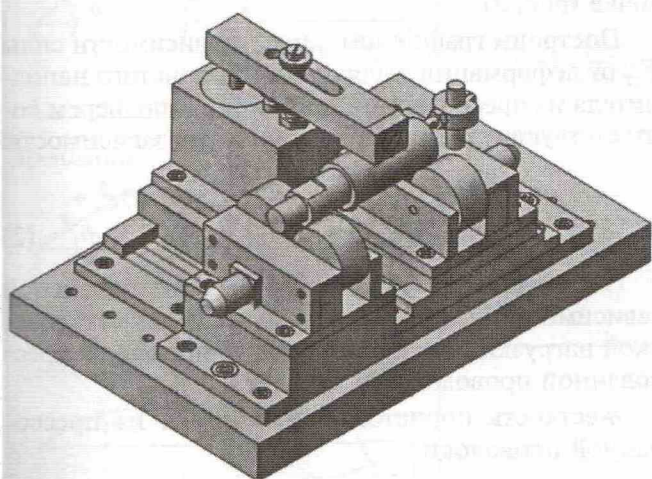


Рис. 9. Установка ступенчатого вала в УСПП

фически оптимальную компоновку УЗП, которую определили по условию задачи, можно представить схемой, приведенной на рис. 8. Конструкция оптимальной компоновки представлена на рис. 9 [15].

Выводы

1. Разработанная система многокритериальной оптимизации, базирующаяся на анализе иерархической структуры компоновки УЗП с учетом конструктивно-технологических характеристик элементов и производственных условий, позволяет выбор наиболее выгодной компоновки УЗП из множества сформированных конкурирующих вариантов.

2. Разработан принцип автоматизированного формирования множества конкурирующих вариантов компоновок УЗП на основе библиотеки функциональных элементов с учетом конструктивно-технологических характеристик заготовок, а также производственных факторов.

3. Разработана база данных функциональных элементов УЗП на основе таблиц решений, которые учитывают их конструктивные характеристики и позволяют определять эффективную область применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Карпуть В. Е., Иванов В. А. Универсально-сборные переналаживаемые приспособления // Вестник машиностроения. 2008. № 11. С. 46–50.
2. Пат. на корисну модель 44718 Україна: МПК В23В 39/00. Самоцентруюча збірна втулка для беззорового базування елементів верстатних пристроїв.
3. Пат. на корисну модель 31000 Україна: МПК В23В 39/00. Опора.
4. Пат. на корисну модель 31469 Україна: МПК В23В 39/00. Базючий вузол.
5. Пат. на корисну модель 34438 Україна: МПК В23В 39/00, В23Q 3/06. Змінна плита.
6. Пат. на корисну модель 29824 Україна: МПК В23В 39/00. Упор регульований.
7. Пат. на корисну модель 298823 Україна: МПК В23В 39/00. Призма регульована.
8. Пат. на корисну модель 31468 Україна: МПК В23В 39/00, В23Q 3/06. Токарний самоцентруючий патрон з автоматичним приводом.
9. Пат. на корисну модель 30999 Україна: МПК В23В 39/00, В23Q 3/05. Оправка розтискна.
10. Пат. на корисну модель 275551 Україна: МПК В23В 39/00, В23Q 3/06. Губки верстатних лещат.
11. Пат. на корисну модель 38073 Україна: МПК В23Q 3/00. Затискний модуль.
12. Подиновский В. В., Гаврилов В. М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М.: Сов. радио, 1975. 192 с.
13. Пуховский Е. С., Мясников Н. Н. Технология гибкого автоматизированного производства. Киев: Техника, 1989. 205 с.
14. Бондаренко С. Г. Основы технології машинобудування. Львів: Магнолія, 2006, 2007. 500 с.
15. Пат. на корисну модель 31416 Україна: МПК В23В 39/00. Базуюча призма, що автоматично регулюється.