

УДК 621.9
На правах рукописи

Зайцев Александр Вячеславович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ
ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ГИДРОЦИЛИНДРОВ НА БАЗЕ
ФОРМАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПОДОБИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук



Москва, 2015

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кондаков Александр Иванович

Официальные оппоненты: **Барзов Александр Александрович**,
доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник Физического
факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Моргунов Юрий Алексеевич,
кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры технологии
машиностроения ФГБОУ ВО «Московский
государственный машиностроительный
университет (МАМИ)»

Ведущая организация: Тульский государственный университет

Защита состоится _____ 2016 г. _____ на заседании
диссертационного совета Д 212.141.06 в Московском государственном
техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я
Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим
выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного технического университета им. Н.Э. Баумана и на сайте
www.bmstu.ru.

Телефон для справок 8(499) 267-09-63

Автореферат разослан _____ 2016 г.

Ученый секретарь совета
д.т.н., доцент



В.П. Михайлов

Актуальность работы. Среди предприятий машиностроения Европы и РФ доля производств единичного и мелкосерийного типов в настоящее время составляет 75...85 %. Это характерно и для производств гидроцилиндров, применяемых в сельскохозяйственном и тракторном машиностроении, подъемно-транспортных, дорожных машинах, авиа- и станкостроении. Небольшие объемы выпуска и широкая номенклатура выпускаемых гидроцилиндров приводят к росту затрат на конструкторскую и технологическую подготовки их производства для предприятий, специализирующихся на выпуске гидравлической техники и комплектующих к ней, составляющих 40...60 % затрат производственно-технологического цикла (ПТЦ), а в некоторых случаях достигая 90%.

Постоянно возрастающие сложность конструкции и требования к качеству гидроцилиндров ведут к росту трудоемкости подготовки производства (ПП) и, как следствие, росту трудоемкости ПТЦ.

Длительность конструкторской подготовки производства (КПП) стремятся сократить, применяя системы автоматизированного проектирования. Методология конструирования, как правило, остается индивидуальной. Это ведет к разработке деталей и изделий, имеющих одинаковое функциональное назначение, но разное конструктивное исполнение. Избыточно расширяется номенклатура составных частей гидроцилиндров.

Для снижения трудоемкости технологической подготовки производства (ТПП) применяют методологии проектирования технологических процессов (ТП), основанные на использовании уже имеющихся технологических решений. Они предполагают оценку близости (подобия) технологических решений, относящихся к отдельным деталям, на основе анализа их конструкций. В настоящее время отсутствуют формальные зависимости, позволяющие оценить подобие конструктивных или технологических решений, и не предложены подходы к его определению. Субъективизм в оценке подобия технологических решений снижает эффективность применения указанных методологий. Субъективные оценки подобия ТП часто приводят к необходимости корректировки найденных процессов-аналогов на 50...60 %, что полностью ликвидирует преимущества данного подхода к проектированию.

Сказанное делает исследование, направленное на повышение эффективности конструкторской и технологической подготовки производства деталей гидроцилиндров, актуальным.

Перспективным путем решения актуальной задачи повышения эффективности подготовки производства деталей гидроцилиндров является выявление и использование формализуемых связей конструктивных и технологических проектных решений.

Цель работы. Повышение эффективности конструкторской и технологической подготовки производства деталей гидроцилиндров.

Основные задачи исследования.

1. Исследование связей конструктивных и технологических проектных решений при подготовке производства деталей гидроцилиндров.
2. Разработка методик унификации конструкций и ТП изготовления

деталей гидроцилиндров, поиска технологических решений-аналогов на основе формальных оценок подобия.

3. Разработка и практическая реализация рекомендаций по повышению эффективности подготовки производства деталей гидроцилиндров.

4. Анализ результатов практической реализации предложенных рекомендаций и общая оценка их эффективности при ПП деталей гидроцилиндров.

Научная новизна состоит в выявлении формализуемых связей конструктивных и технологических проектных решений и использовании формально определяемых количественных оценок их подобия для повышения эффективности ПП деталей изделия заданного функционального класса.

Практическая значимость работы заключается в разработке и внедрении на действующем предприятии методик повышения эффективности ПП деталей гидроцилиндров, основанных на формальных связях оценок подобия конструктивных и технологических проектных решений и применимых как при неавтоматизированном проектировании, так и при разработке систем автоматизации поддержки проектных решений. Реализация указанных методик позволила провести унификацию конструкций деталей и ТП, что привело к уменьшению доли затрат на ПП в себестоимости изделий с 75...85 % до 35...40 % при одновременном уменьшении себестоимости в 2...2,5 раза. Использование формальных оценок подобия решений позволило снизить среднюю трудоемкость разработки ТП изготовления основных деталей гидроцилиндров до 1,75 раза.

Методы исследования. Использовались фундаментальные и прикладные положения технологии машиностроения, научные основы типовой и групповой технологий, теория графов, теория вероятностей, кластерный анализ.

На защиту выносятся следующие положения:

- функциональные связи формально определяемых оценок подобия конструктивных и технологических проектных решений;
- методика конструктивно-технологической унификации проектных решений, основанная на функциональных связях оценок конструктивного и технологического подобия;
- методика поиска технологических процессов-аналогов, базирующаяся на формализуемых связях конструктивных и технологических проектных решений, обеспечивающих объем последующей корректировки найденного процесса-аналога, не превышающий 40 % по составу.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на Всероссийской научно-технической конференции студентов «Студенческая научная весна 2011: Машиностроительные технологии» (Москва, 2011), на 4-й Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее Машиностроения России 2011» (Москва, 2011), на 19-й научно-технической конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 50-летию первого полета человека в космос «РКК Энергия» (Королев, 2011), на Всероссийской научно-технической конференции студентов «Студенческая научная весна 2012: Машиностроительные технологии» (Москва, 2012), на 6-й Всероссийской

конференции молодых ученых и специалистов «Будущее Машиностроения России 2013» (Москва, 2013), на 1-ой международной заочной научно-технической конференции «Технологическое обеспечение машиностроительных производств» (Челябинск, 2013), на 7-й Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее Машиностроения России 2014» (Москва, 2014). Основные разделы диссертации докладывались на научных семинарах кафедры «Технологии машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2012...2015 г.г.

Публикации. Основное содержание работы отражено в 13 печатных работах, из которых 6 – в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Общий объем публикаций 3,41 п.л. Список публикаций приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка литературы и одиннадцати приложений. Общий объем работы составляет 185 страниц, в том числе 131 страница текста, 39 рисунков, 49 таблиц, список литературы из 117 наименований и приложений на 54 страницах.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность решаемой в диссертационной работе научной задачи, формулируется основная идея и научная новизна работы.

В первой главе определены особенности гидроцилиндров как предметов принятия проектных решений, проведен анализ современного состояния ПП основных деталей гидроцилиндров.

Безусловно доминирующими в номенклатуре и объемах выпуска отечественных и зарубежных предприятий (до 80 %) являются гидроцилиндры двустороннего действия с односторонним штоком. Они, как объект проектирования, имеют ряд особенностей: простота конструкции и небольшое количество деталей (всего 10...14; из них 5...6 обрабатывают механически); ограниченное число основных типов (5...7 для одного предприятия) при значительном числе конструктивных исполнений (до 500...800 на одном предприятии); невысокая точность (IT8...9) основных деталей при шероховатости рабочих поверхностей Ra 0,08...0,16 мкм.

Тенденции развития рынка строительно-дорожной техники в РФ ведут к непрерывному росту номенклатуры выпускаемых отечественными предприятиями гидроцилиндров (Рис. 1, а) при снижении объемов их выпуска (Рис. 1, б). Это приводит к значительному увеличению доли затрат на ПП в себестоимости гидроцилиндров. В настоящее время доля затрат на ПП для машиностроительных предприятий с мелкосерийным типом производства, в том числе и для предприятий, выпускающих гидроцилиндры, составляет 40...60 % от затрат ПТЦ, в некоторых случаях достигая 90 %.

Эффективность ПП прямо зависит от снижения трудоемкости выполнения ее этапов, что количественно оценивают по критериям: трудоемкость КПП рассматриваемого изделия (T_K); трудоемкость ТПП рассматриваемого изделия (T_T); затраты на КПП рассматриваемого изделия (Z_K); затраты на ТПП рассматриваемого изделия (Z_T). Количественной оценкой качества полученных

при ПП решений служат: трудоемкость изготовления вновь разработанного изделия ($T_{и}$); затраты на изготовление вновь разработанного изделия ($З_{и}$); доля брака (b), полученная при изготовлении партии изделий; коэффициент унификации изделия (K_y) и др.

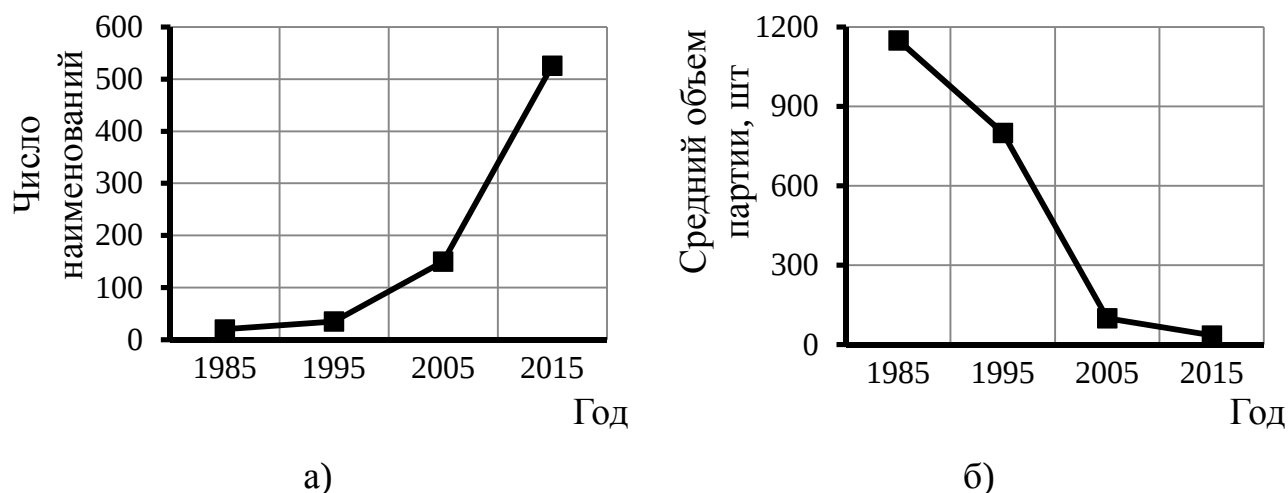


Рис. 1. Изменение характеристик производства гидроцилиндров:
а) номенклатура; б) средний объем партии

Оценивание эффективности ПП – многокритериальная задача, решение которой на основе абсолютных показателей (частных критериев) затруднительно. Для сравнения проектных решений применяли интегральные критерии вида «полезный эффект/затраты» при конструкторско-технологической подготовке производства изделия ($K_{КТ}$) и в ПТЦ одного изделия ($K_{ПТЦ(1)}$):

$$K_{КТ} = \frac{N \cdot (1 - b)}{З_{к} + З_{т}}, \quad (1)$$

где N – заданный (номинальный) объем выпуска рассматриваемого изделия;

$$K_{ПТЦ(1)} = \frac{1}{\frac{З_{к} + З_{т}}{N \cdot (1 - b)} + (1 + b) \cdot З_{и}}. \quad (2)$$

Совершенствование КПП гидроцилиндров, как правило, направлено на применение методик проектирования, позволяющих формализовать процессы разработки конструкций. Среди работ отечественных и зарубежных исследователей, посвященных вопросам методологии проектирования и конструирования машин, наибольшее признание получили работы И.П. Норенкова, П.И. Орлова, Дж. Джонса, Я. Дитриха, Ф. Ханзена, П. Хилла, и др.

Решая проблему сокращения избыточной номенклатуры, предприятия проводят унификацию составных частей изделий. Весомый вклад в развитие идей унификации конструкций внесли К.Рот, В.М. Третьяков, Т. Симпсон.

Реализации преимуществ унификации способствует параметризация конструкций. Проектируют не конкретное изделие (деталь, сборочную единицу), а группу изделий, схожих по конструктивно-технологическим признакам. Конструкцию конкретного изделия получают из параметрической модели заданием конкретных значений параметров. Вопросы параметрического проектирования рассмотрены в работах Н.Н. Голованова, В.Н. Малюха,

В.С. Полозова и др. Разработано несколько специализированных параметрических систем проектирования гидроцилиндров, представленных в работах В.А. Беспалова, Я.С. Ватулина, С.В. Леванова. Главным недостатком указанных систем является высокая трудоемкость создания новых и невысокая адаптируемость существующих решений, постоянно сужающая границы их использования при непрерывном росте номенклатуры выпускаемых изделий. Эти недостатки объясняются тем, что большинство подходов к унификации, в настоящее время, являются декларативными, процедуры разделения всего множества деталей на подмножества для унификации не формализованы, что практически исключает автоматизацию процесса.

При ТПП гидроцилиндров решение интеллектуально сложных («творческих») задач занимает примерно 10% от общей трудоемкости. Остальные 90% приходятся на «рутинные» задачи: трудоемкость оформления документации составляет 30...50%; выполнение типовых расчетов 30...40%; поиск информации 15...20%.

Для снижения трудоемкости решения «рутинных» задач ТПП разработаны методологии проектирования ТП, отличающиеся от индивидуального проектирования. Они основаны на предварительном группировании деталей или поиске процессов-аналогов из ранее разработанных ТП. Значительный вклад в исследование проблем повышения эффективности и формализации ТПП внесли работы В.И. Аверченкова, Б.М. Базрова, Г.К. Горанского, С.П. Митрофанова, Н.М. Капустина, В.М. Кована, В.С. Корсакова, А.П. Соколовского, В.Д. Цветкова, и других ученых. Указанные методологии нашли широкое практическое применение в промышленности, например в системах автоматизации проектирования ТП отечественной разработки: Вертикаль, T-Flex Технология, TechnologiCS, APM Technology и др.

Основной сложностью, возникающей при внедрении типовой и групповой технологий, является процесс группирования деталей. Для создания групп деталей необходимо проанализировать большое число конструкций деталей и ТП (см. Рис. 1), а имеющиеся рекомендации по разбиению деталей на группы носят общий характер и не отражают особенностей конкретного производства. Поиск процессов-аналогов также осуществляется на основе опыта технолога. Для выбора оптимального ТП-аналога его поиск должен выполняться из всех разработанных ранее ТП, а так как их число на предприятиях достигает нескольких тысяч (см. Рис. 1), то проектировщик осуществляет выбор ТП-аналога из относительно небольшого числа выбранных им вариантов. Выбор ТП зачастую осуществляется на основе субъективных предпочтений разработчика, что приводит к необходимости последующей корректировки найденных процессов на 50-60 % по составу и структуре. Таким образом, повышение эффективности ТП деталей требует разработки аппарата формального оценивания сходства (подобия) предметов производства, базирующегося на сравнении ТП их изготовления.

Цель исследования – повышение эффективности конструкторской и технологической подготовки производства деталей гидроцилиндров.

Объект исследования – процесс формирования проектных решений при конструкторской и технологической подготовке производства деталей гидроцилиндров.

Достижение поставленной цели исследования связано с выполнением приведенных выше основных задач.

Во второй главе представлены результаты исследования связей конструктивных и технологических проектных решений деталей гидроцилиндров. Доказано существование статистически значимой линейной корреляции между оценками подобия проектных решений. Представлены функциональные зависимости оценок подобия конструктивных и технологических проектных решений.

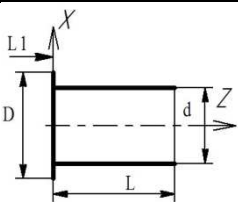
Конструктивное подобие – характеристика, отражающая сходство основных конструктивных решений и принципов, положенных в основу изделия с точки зрения последующих технологических решений, принимаемых для изготовления данных изделий в конкретных производственных условиях.

Проблематика сравнения конструктивных решений рассмотрена в работах Б.М. Базрова, А.В. Кочадаева, С.П. Митрофанова, А.П. Соколовского, В.М. Третьякова. Все известные способы количественного сравнения конструктивных решений основаны на декомпозиции их объектов на составные элементы, в качестве которых могут выступать поверхности деталей, узлы сопряжения, модули поверхностей. Указанные способы отражают лишь геометрические свойства и функциональное назначение поверхностей, но слабо связаны с последующими технологическими решениями.

Для формального определения конструктивного подобия деталей предложено в качестве основных элементов их конструкций использовать сочетания поверхностей, обладающих общностью технологии формообразования, рассмотренные в работах А.И. Кондакова (Т-комплексы, Таблица 1).

Таблица 1.

Пример Т-комплекса

Идентификатор	Эскиз комплекса	Технологические методы	Тип пр-ва	Допустимые геометрические параметры и технологические атрибуты
TK11		Обтачивание	*	$L \leq 1000$ мм; $D, d \leq 400$ мм; IT 6...14; Ra 12,5...1,6 мкм
		Шлифование	*	$L \leq 500$ мм; $D, d \leq 150$ мм; IT 5...9; Ra 3,2...0,1 мкм
		Притирка	Е, МС	$L \leq 100$ мм; $D, d \leq 100$ мм; IT 5...6; Ra 0,2...0,02 мкм

Примечание: Е – единичный тип пр-ва; МС – мелкосерийный тип пр-ва; * - любой тип пр-ва.

Конструкция детали может быть представлена множеством (составом) входящих в нее Т-комплексов и графом связей (структурой), узлами которого являются Т-комплексы обрабатываемых поверхностей, а ребрами – условно отображаемые связи между ними (Рис. 2). Анализ конструкций и ТП изготовления основных деталей гидроцилиндров показал, что для них характерен ряд особенностей,

позволивших формализовать процесс их декомпозиции на Т-комплексы и выработать правила построения графа связей.

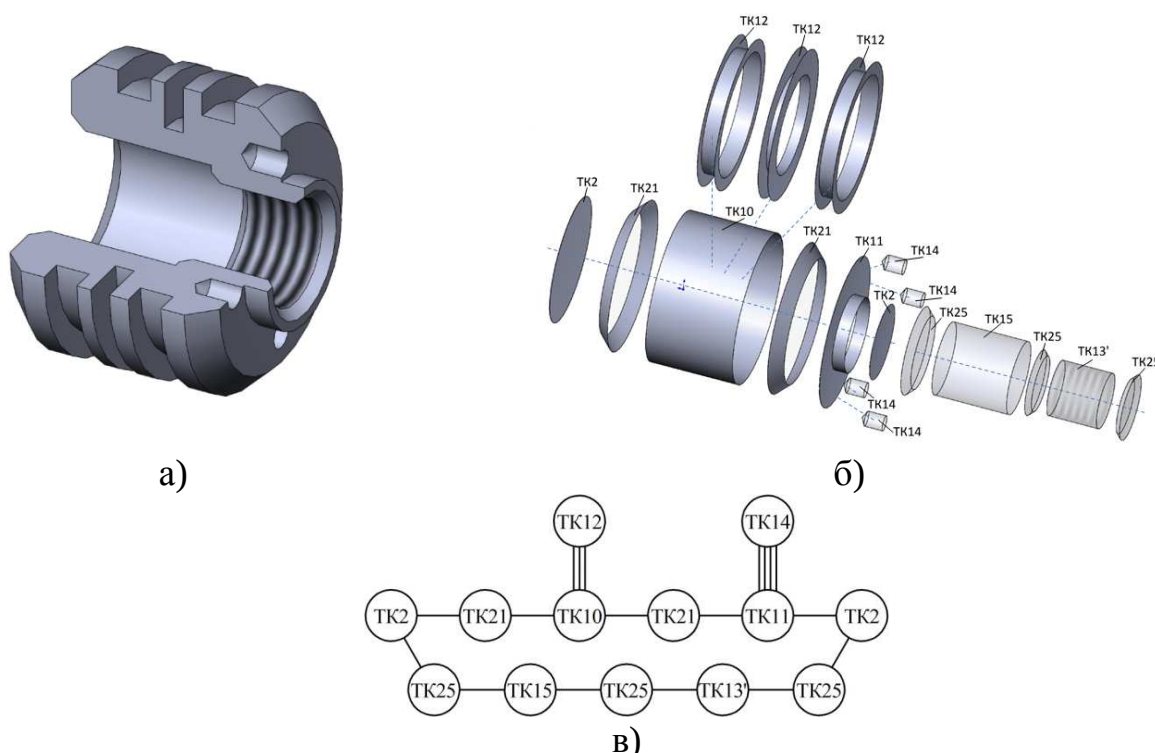


Рис. 2. Пример формализации представления конструкции поршня гидроцилиндра: а) модель поршня; б) состав Т-комплексов; в) граф связей

Могут быть получены оценки конструктивного подобия деталей (S_K^*):

а) по составу описывающих их Т-комплексов (S_K^{COCT});

б) по структуре (связям) Т-комплексов (S_K^{CTP}).

Количественно обе оценки можно определить по формуле (Таблица 2):

$$(S_K^*)_{A,B} = \frac{2 \cdot m}{a + b}, \quad (3)$$

где $(S_K^*)_{A,B}$ – значение выбранной оценки (S_K^{COCT}) или (S_K^{CTP}) конструктивного подобия деталей A и B . Для оценки $(S_K^{\text{COCT}})_{A,B}$ m – число тождественных Т-комплексов в составах деталей A и B ; a, b – общее число Т-комплексов в составах деталей A и B соответственно. Для оценки $(S_K^{\text{CTP}})_{A,B}$ m – число тождественных связей Т-комплексов деталей A и B ; a, b – общее число связей в сравниваемых графах деталей A и B соответственно.

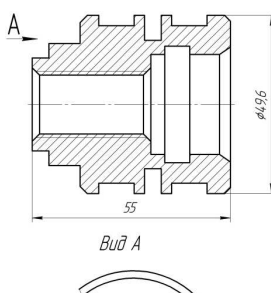
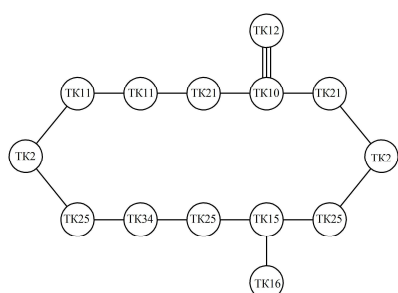
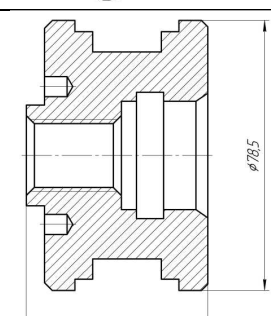
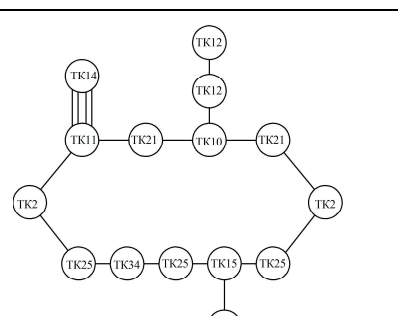
Для получения формальных оценок подобия ТП использовали методологию оценивания технологического подобия, разработанную в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Количественную оценку подобия состава сравниваемых ТП « A » и « B » (см. Таблицу 2) определяли по формуле:

$$(S_{\text{TEX}})_{A,B} = \frac{2 \cdot m}{a + b}, \quad (4)$$

где a, b – число технологических операций в маршрутных ТП « A » и « B » соответственно; m – число пар тождественных операций в сравниваемых процессах.

Таблица 2.

Примеры определения оценок конструктивного (S_K^{COCT} ; S_K^{CTP}) и технологического (S_{TEX}) подобию деталей гидроцилиндров (поршень)

Эскиз	МТП	S_{TEX}	Граф связей	S_K^{COCT}	S_K^{CTP}
	1. Контрольная 2. Ленточно-пильная 3. Контрольная 4. Токарная с ЧПУ 5. Токарная с ЧПУ 6. Токарная с ЧПУ 7. Горизонтально-фрезерная 8. Слесарная 9. Контрольная	0,89		0,86	0,76
	1. Контрольная 2. Ленточно-пильная 3. Контрольная 4. Токарная с ЧПУ 5. Токарная с ЧПУ 6. Токарная с ЧПУ 7. Вертикально-сверлильная 8. Слесарная 9. Контрольная				

Проверку гипотезы о существовании связей оценок подобию конструктивных и технологических решений осуществляли в производственных условиях ОАО «Елецгидроагрегат» отдельно для каждой группы деталей (Таблица 3) и каждой пары оценок подобию ($(S_K^{COCT})_{A,B}$; $(S_{TEX})_{A,B}$) и ($(S_K^{CTP})_{A,B}$; $(S_{TEX})_{A,B}$), определенных по (3) и (4).

Для пары оценок подобию выдвинуты 2 конкурирующие гипотезы (H_0 , H_1), численным отображением которых являлся выборочный коэффициент линейной корреляции (r_{XY}):

- H_0 : $r_{XY} = 0$ – нет линейной взаимосвязи между парой $((S_K^*)_{A,B}$; $(S_{TEX})_{A,B}$);

- H_1 : $r_{XY} \neq 0$ – есть линейная взаимосвязь между парой $((S_K^*)_{A,B}$; $(S_{TEX})_{A,B}$).

Формальное условие опровержения гипотезы H_0 представляли в виде:

$$\left| r_{XY} \cdot \frac{\sqrt{n-2}}{1 - (r_{XY})^2} \right| > t_k(\alpha', \rho),$$

где n – объем выборки; $t_k(\alpha', \rho)$ – критическая точка распределения Стьюдента при заданном уровне значимости α' (принято $\alpha'=0,05$) и числе степеней свободы ρ .

Функциональную связь оценок подобию определяли путем линейной аппроксимации экспериментальных результатов методом наименьших квадратов:

$$S_{TEX} = D \cdot S_K^* + E,$$

где D и E – коэффициенты линейной зависимости:

$$D = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n S_{Ki}^* \cdot S_{TEXi} - \sum_{i=1}^n S_{Ki}^* \cdot \sum_{i=1}^n S_{TEXi}}{n \cdot \sum_{i=1}^n S_{Ki}^{*2} - (\sum_{i=1}^n S_{Ki}^*)^2},$$

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{TEX}i} - A \cdot \sum_{i=1}^n S_{\text{Ki}}^*}{n}.$$

где S_{Ki}^* – значение выбранной оценки ($S_{\text{K}}^{\text{COCT}}$) или ($S_{\text{K}}^{\text{CTP}}$) конструктивного подобия i -ой пары деталей; $S_{\text{TEX}i}$ – значение оценки технологического подобия i -ой пары деталей.

Точность аппроксимации оценивали стандартным отклонением (s).

Результаты, полученные для всех групп деталей гидроцилиндров и пар оценок подобия, приведены в Таблице 3.

Таблица 3.

Связи оценок конструктивного и технологического подобия деталей гидроцилиндров

№	Наименование группы	Вид связи	Функция	s	$r_{XY} - \Delta_r \leq r_{XY} \leq r_{XY} + \Delta_r$	$\left r_{XY} \cdot \frac{\sqrt{n-2}}{1-(r_{XY})^2} \right $	$t_k(\alpha', \rho)$
1	Поршень	$S_{\text{TEX}} = F(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})$	$S_{\text{TEX}} = 0,958 \cdot S_{\text{K}}^{\text{COCT}} + 0,053$	0,071	$0,833 \leq r_{xy} \leq 0,890$	59,825	1,962
		$S_{\text{TEX}} = F(S_{\text{K}}^{\text{CTP}})$	$S_{\text{TEX}} = 0,907 \cdot S_{\text{K}}^{\text{CTP}} + 0,024$	0,051	$0,894 \leq r_{xy} \leq 0,939$	82,017	1,962
		$S_{\text{K}}^{\text{CTP}} = F(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})$	$S_{\text{K}}^{\text{CTP}} = 0,883 \cdot S_{\text{K}}^{\text{COCT}} + 0,15$	0,081	-	-	-
2	Гильза	$S_{\text{TEX}} = F(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})$	$S_{\text{TEX}} = 1,011 \cdot S_{\text{K}}^{\text{COCT}} - 0,112$	0,128	$0,742 \leq r_{xy} \leq 0,829$	32,803	1,963
		$S_{\text{TEX}} = F(S_{\text{K}}^{\text{CTP}})$	$S_{\text{TEX}} = 0,987 \cdot S_{\text{K}}^{\text{CTP}} + 0,102$	0,067	$0,923 \leq r_{xy} \leq 0,969$	75,380	1,963
		$S_{\text{K}}^{\text{CTP}} = F(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})$	$S_{\text{K}}^{\text{CTP}} = 1,008 \cdot S_{\text{K}}^{\text{COCT}} - 0,205$	0,114	-	-	-
3	Крышка передняя	$S_{\text{TEX}} = F(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})$	$S_{\text{TEX}} = S_{\text{K}}^{\text{COCT}} - 0,04$	0,052	$0,896 \leq r_{xy} \leq 0,940$	64,044	1,962
		$S_{\text{TEX}} = F(S_{\text{K}}^{\text{CTP}})$	$S_{\text{TEX}} = 0,993 \cdot S_{\text{K}}^{\text{CTP}} + 0,044$	0,023	$0,964 \leq r_{xy} \leq 0,988$	89,361	1,962
		$S_{\text{K}}^{\text{CTP}} = F(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})$	$S_{\text{K}}^{\text{CTP}} = 0,668 \cdot S_{\text{K}}^{\text{COCT}} + 0,289$	0,044	-	-	-
4	Крышка задняя	$S_{\text{TEX}} = F(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})$	$S_{\text{TEX}} = 0,765 \cdot S_{\text{K}}^{\text{COCT}} + 0,217$	0,113	$0,753 \leq r_{xy} \leq 0,838$	35,262	1,963
		$S_{\text{TEX}} = F(S_{\text{K}}^{\text{CTP}})$	$S_{\text{TEX}} = 0,782 \cdot S_{\text{K}}^{\text{CTP}} + 0,137$	0,103	$0,795 \leq r_{xy} \leq 0,873$	43,233	1,963
		$S_{\text{K}}^{\text{CTP}} = F(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})$	$S_{\text{K}}^{\text{CTP}} = 0,668 \cdot S_{\text{K}}^{\text{COCT}} + 0,289$	0,151	-	-	-
5	Шток	$S_{\text{TEX}} = F(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})$	$S_{\text{TEX}} = 1,011 \cdot S_{\text{K}}^{\text{COCT}} - 0,088$	0,066	$0,876 \leq r_{xy} \leq 0,936$	54,044	1,963
		$S_{\text{TEX}} = F(S_{\text{K}}^{\text{CTP}})$	$S_{\text{TEX}} = 1,001 \cdot S_{\text{K}}^{\text{CTP}} + 0,119$	0,033	$0,958 \leq r_{xy} \leq 0,990$	115,989	1,963
		$S_{\text{K}}^{\text{CTP}} = F(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})$	$S_{\text{K}}^{\text{CTP}} = 1,003 \cdot S_{\text{K}}^{\text{COCT}} - 0,202$	0,058	-	-	-

Примеры графического отображения полученных зависимостей показаны на Рис. 3. Расчеты позволили опровергнуть гипотезу H_0 для всех групп деталей гидроцилиндров и всех пар оценок подобия, что доказало, существование статистически значимой линейной взаимосвязи оценок конструктивного и технологического подобия основных деталей гидроцилиндров.

Третья глава содержит изложение разработанного методического подхода к совершенствованию ПП деталей гидроцилиндров на базе формального оценивания подобия проектных решений, позволяющего проводить их конструктивно-технологическую унификацию и осуществлять поиск процесс-аналогов.

Для каждой группы деталей (см. Таблицу 3), по разработанному алгоритму, реализующему способ прямой классификации, выделяли ряды их конструктивных исполнений, внутри каждого из которых оценка конструктивного подобия любых двух элементов (например, A и B) по составу $(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})_{A,B}$ удовлетворяла условию:

$$(S_{\text{K}}^{\text{COCT}})_{A,B} \geq S_{\Gamma}, \quad (5)$$

где A, B – идентификаторы сравниваемых элементов ряда; S_{Γ} – граничное значение оценки конструктивного подобия элементов по составу, определяемое по отдельной методике ($S_{\Gamma} = 0,8 \dots 0,9$).

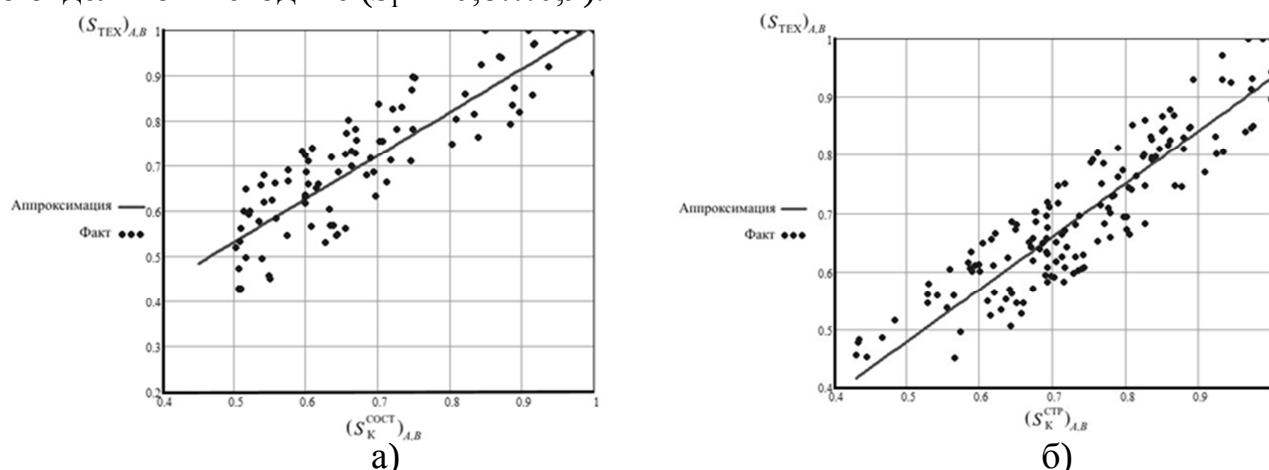


Рис. 3. Зависимости оценок технологического подобия $(S_{\text{TEX}})_{A,B}$ от конструктивного подобия по составу $(S_K^{\text{COCT}})_{A,B}$ (а) и структуре $(S_K^{\text{CTP}})_{A,B}$ (б) деталей группы «поршень»

В соответствии с разработанным алгоритмом, выполнена унификация конструктивных элементов внутри каждого ряда, заключающаяся в выявлении сравнительно небольшого числа основных параметров, описывающих ряд и построении его параметрической модели.

Проведены исследования зависимости числа параметров в параметрических моделях от мощности унифицируемых множеств основных деталей гидроцилиндров и способа их формирования. Показано, что для множеств, случайно образующихся из деталей одной группы, с увеличением мощности, резко увеличивается число параметров, необходимых для описания их модели (Рис. 4).

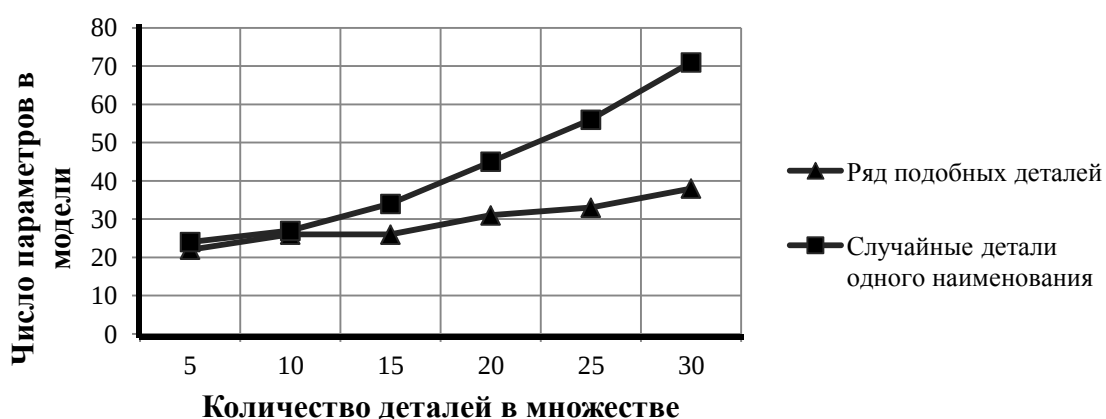


Рис. 4. Зависимость числа параметров в параметрической модели группы «крышка задняя» от количества деталей в унифицируемом множестве, и способе его построения

При формировании множеств по оценкам конструктивного подобия (ряды подобных деталей) число параметров в получаемой модели слабо зависит от

числа унифицируемых деталей. Условие (5) позволяет объективно выявлять рациональное число конструктивных исполнений (рядов) деталей, позволяющее провести их последующую унификацию, уменьшая число переменных параметров на 60...70% и нивелируя недостатки параметрических систем, описанных в главе 1.

Выявленные формальные связи оценок конструктивного и технологического подобия (см. гл. 2) позволили провести унификацию отдельных технологических решений, объединяемых в ТП изготовления деталей рядов путем построения параметрических моделей рассматриваемых процессов. Параметрический ТП – типовой процесс изготовления группы (ряда) деталей, характеристики которого заданы параметрически, а их количественное определение трансформирует его в единичный процесс изготовления конкретной детали группы (ряда).

Построенные параметрические модели позволяют не только провести унификацию имеющихся проектных решений, но и уменьшить трудоемкость разработки конструкций и ТП изготовления новых деталей, входящих в ряды подобных, по условию (5), без существенной переработки разработанных моделей.

Повышение эффективности подготовки производства, для деталей, не вошедших в унифицированные ряды, возможно путем использования разработанных ранее и апробированных ТП-аналогов. Количественной мерой эффективности поиска процесса-аналога является объем корректировки (α) процесса A при его модификации в искомый единичный ТП B определяемый по формуле:

$$\alpha = \frac{x + y}{a},$$

где x – число операций, удаленных из процесса A при его модификации; y – число операций, добавленных к процессу A при его модификации; a – число операций из которых состоит процесс A изначально. Экспериментально установлено (Рис. 5), что при $\alpha > 0,4...0,6$ трудоемкость корректировки ТП-аналога равна трудоемкости индивидуального проектирования, что делает поиск и модификацию аналога неэффективными.

Доказано, что существует функциональная связь между оценками технологического подобия и объемом корректировки:

$$\alpha = \frac{m}{(S_{\text{ТЕХ}})_{A,B}} - \frac{m}{a}. \quad (6)$$

где m – число сохраненных неизменными операций процесса A , являющихся общими для процессов A и B . Определено минимально допустимое значение оценки технологического подобия для процесса-аналога $(S_{\text{ТЕХ}})_{A,B} \geq 0,76$.

Установленные связи оценок конструктивного и технологического подобия (см. Таблицу 3) позволяют проводить объективный выбор детали-аналога и с учетом (6) и зависимостей, аналогичных приведенной на Рис. 5, прогнозировать ожидаемую трудоемкость корректировки найденного ТП-аналога.

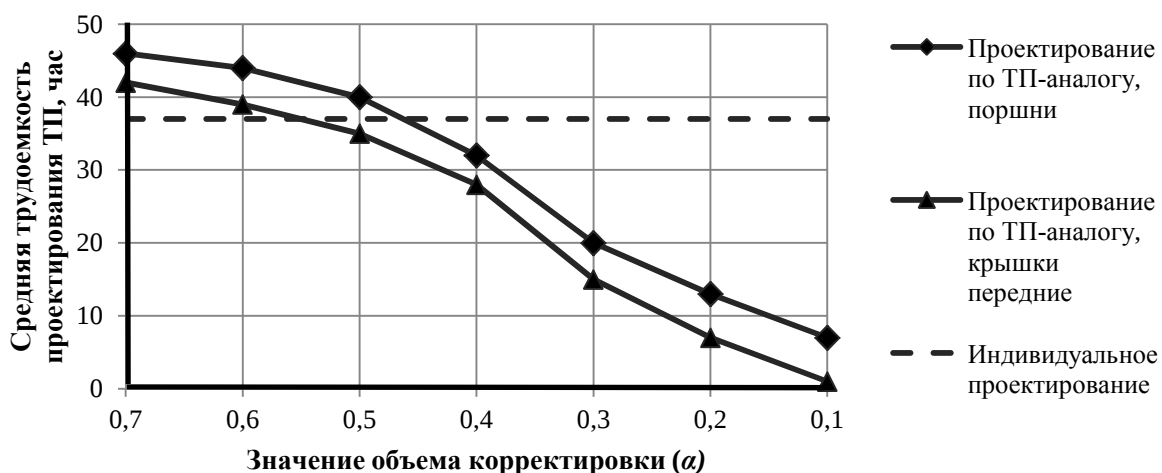


Рис. 5. Зависимость трудоемкости разработки ТП от объема корректировки (α) для деталей групп «поршень» и «крышка передняя»

В четвертой главе приведены результаты экспериментально-производственной апробации применения формальных оценок подобия проектных решений при ПП деталей гидроцилиндров, и анализ полученных результатов.

Цель исследования — оценка возможности и эффективности практического применения разработанных методик конструкторско-технологической унификации, базирующихся на использовании формальных оценок подобия проектных решений, при ПП деталей гидроцилиндров в условиях действующего предприятия.

В течение 6 месяцев выполняли мониторинг технико-экономических показателей ПТЦ основных деталей гидроцилиндров, производимых предприятием, при этом:

- а) в течение первых 4-х месяцев при ПП использовали традиционную для предприятия методику конструкторско-технологического проектирования;
- б) в следующие 2 месяца ПП выполняли с помощью разработанных методик, базирующихся на использовании формальных оценок подобия решений.

Анализ результатов проведенного исследования позволил определить эффективность применения разработанных методик как по частным критериям оценки ПТЦ (см. гл. 1), так и по интегральным критериям (1), (2).

Повышение эффективности КПП в течении двух последних месяцев достигнуто за счет применения стандартов конструкций унифицированных деталей, разработанных при помощи оценок подобия решений. Значение коэффициента унификации (K_y) возросло за последние два месяца (после применения предложенной методики) с 0,15...0,25 до 0,3...0,4, что соответствует лучшим конструктивным аналогам. Унификация позволила сократить число применяемых конструктивных исполнений деталей, увеличив объемы партий их выпуска на 31...48 % по сравнению с первыми четырьмя месяцами (Рис. 6). Увеличение объемов партий основных деталей гидроцилиндров привело к уменьшению доли затрат на ПП в себестоимости изделий, которая для партий деталей группы

«поршень» объемом 5...15 шт. составила 75...85 %, а для партий объемом 90...100 шт. уменьшилась до 35...40 % (Рис. 7).

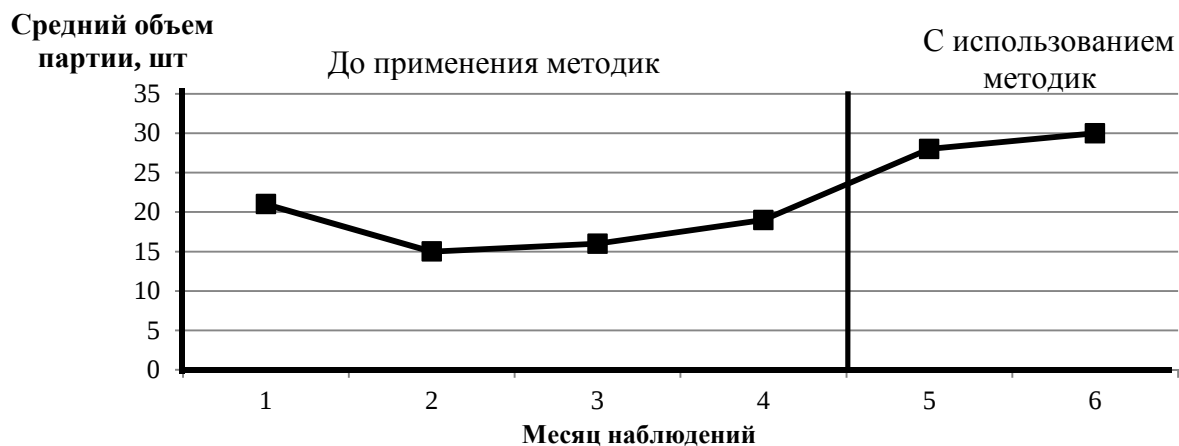


Рис. 6. Изменение среднего объема партии деталей группы поршней



Рис. 7. Изменение средних составляющих затрат на ПТЦ деталей группы «поршень», Р в зависимости от объема партии: $\overline{Z}_K$ – средние затраты на КПП; $\overline{Z}_T$ – средние затраты на ТПП; $\overline{Z}_И$ – средние затраты на изготовление; $\overline{Z}_\Sigma$ – средние суммарные затраты

Использование методики группирования деталей по оценкам $(S_K^{COCT})_{A,B}$, позволило уменьшить среднюю трудоемкость разработки ТП в новом варианте по сравнению с базовым вариантом с 37 час. до 13 час. (Рис. 8, а). Значительное снижение трудоемкости (на 60...65 %) связано с фактическим отказом от индивидуальной разработки маршрутной и операционной технологии и использовании типовых, апробированных решений в виде параметрической модели для формирования технологических решений. Данный способ применим только при наличии соответствующей параметрической модели, что происходило в 39...41 % случаев.

Опыт применения методики использования формальных связей оценок конструктивного и технологического подобия для поиска процессов-аналогов у различных групп деталей показал, что трудоемкость ТПП при этом снижается на 22...35 % (Рис. 8, б) по сравнению с индивидуальным проектированием, что меньше, чем при использовании методики на основе параметрических ТП. Ее

использование для деталей не входящих в унифицированные ряды позволило повысить эффективность ТПП по сравнению с индивидуальным проектированием. Эффект заключается в коррекции имеющихся технологических решений вместо полного проектирования ТП или его глубокой переработки.

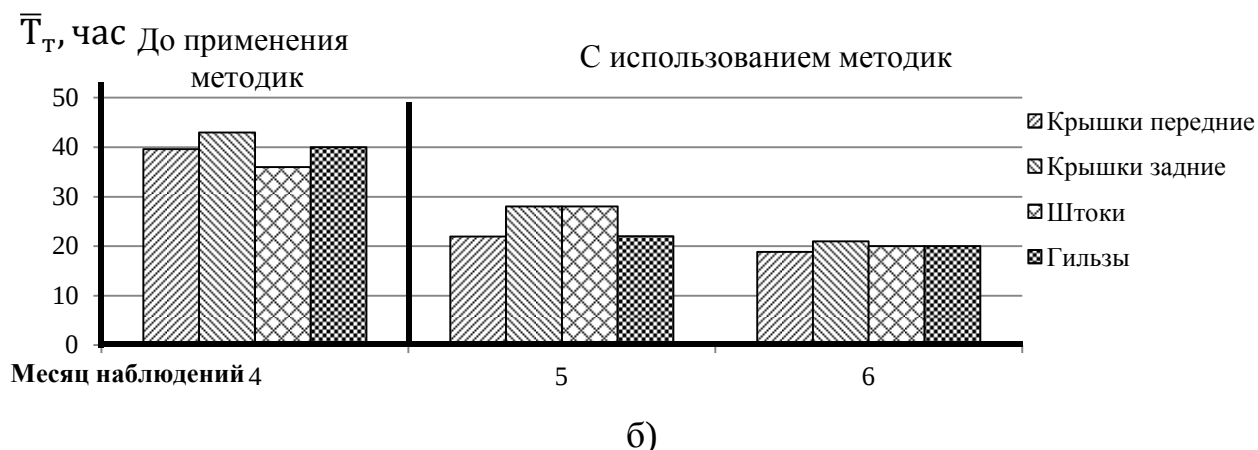
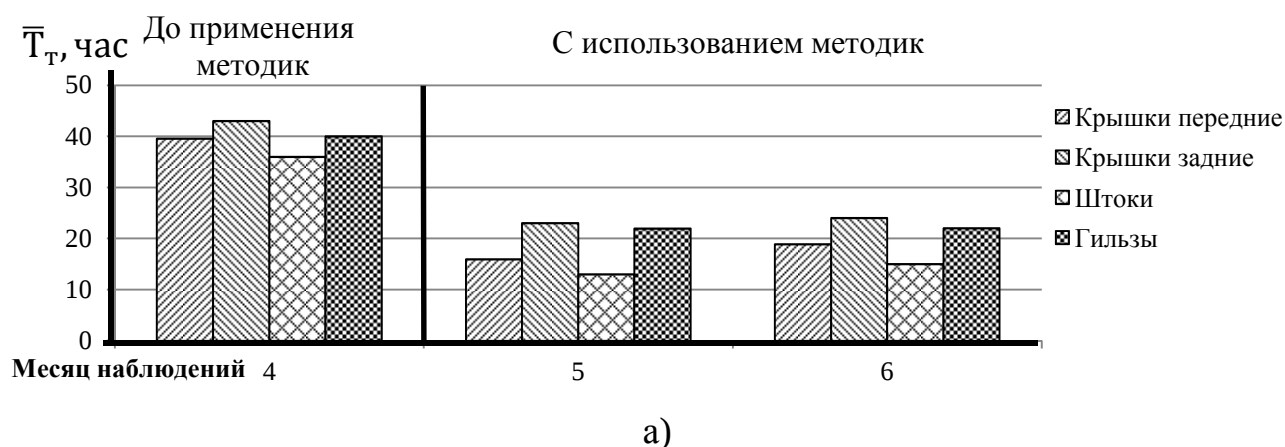


Рис. 8. Средняя трудоемкость ТПП для различных групп деталей, для 5-го и 6-го месяцев мониторинга: а) ТП, разработанные при помощи унифицированных ТП б) ТП, разработанные при помощи ТП-аналога

Общая оценка эффективности конструкторско-технологической подготовки производства и ПТЦ, проведенная по интегральным критериям вида «полезный эффект/затраты» $K_{КТ}$ и $K_{ПТЦ(1)}$, показывает, что применение разработанных методик позволяет гарантированно повысить эффективность ПП на 33...42 %, и эффективность ПТЦ на 28...32 %.

Общие выводы по диссертации

1. Повышение эффективности подготовки производства основных деталей гидроцилиндров является актуальной научной задачей, решение которой имеет важное значение для машиностроения РФ.

2. Комплексная унификация конструктивных и технологических решений при подготовке производства основных деталей гидроцилиндров, проведенная по процедурно разработанной методике, базирующейся на использовании формального оценивания подобия проектных решений, уменьшает их разнообразие на 50...60 %.

3. Уменьшение числа конструктивных исполнений деталей гидроцилиндров и процессов их изготовления позволило увеличить объемы партий изготавливаемых деталей на 31...48 %, снизить долю затрат на подготовку производства в себестоимости последних с 75...85 % до 35...40 % при снижении себестоимости в 2...2,5 раза.

4. Между значениями оценок конструктивного и технологического подобия деталей гидроцилиндров существуют устойчивые взаимосвязи, аппроксимируемые линейными зависимостями со стандартным отклонением для деталей одной конструктивной группы, не превышающим 16 %.

5. При значениях оценок конструктивного подобия основных деталей гидроцилиндров функционально сходных групп в пределах 0,8...0,9 устойчиво формируются ряды, включающие 20...30 деталей, конструкции которых описываются единой параметрической моделью, преобразующейся в модель конкретной детали при задании лишь 5...10 % параметров, полностью определяемых при традиционном проектировании.

6. Формальные связи оценок конструктивного подобия деталей и процессов их изготовления позволяют прогнозировать трудоемкость корректировки предполагаемого процесса-аналога при его преобразовании в единичный процесс и учитывать это при поиске аналога. Использование оценок подобия для поиска процессов-аналогов позволяет снизить трудоемкость разработки на их основе единичных технологических процессов изготовления деталей на 40...60 %.

7. Разработанная методика унификации процессов изготовления деталей гидроцилиндров позволяет создавать параметрические технологические процессы изготовления деталей рядов каждой функциональной группы, задание параметрических характеристик которых трансформирует их в единичные процессы изготовления конкретной детали ряда, что обеспечивает снижение трудоемкости технологического проектирования в 1,75...3,0 раза по сравнению со средним ее значением в действующем производстве.

8. Сравнение эффективности подготовки производства с использованием традиционной методологии и с применением методик, базирующихся на формальном оценивании подобия решений, по критерию «полезный эффект/затраты» показало ее рост в последнем случае на 33...42 % при увеличении эффективности производственно-технологического цикла в среднем на 28...32 %.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Зайцев А.В. Основные направления модернизации технической подготовки производства гидроцилиндров // Студенческая весна 2011: Машиностроительные технологии: Сб. тез. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. С. 147-148. (0,12 п.л.)

2. Кондаков А.И., Зайцев А.В., Ноготков К.О. Модернизация технической подготовки производства гидроцилиндров // Справочник. Инженерный журнал. 2011. №8. С.14-21. (0,9 п.л. / 0,3 п.л.)

3. Зайцев А.В. Исследование связей технологических и конструкторских решений при подготовке производства гидроцилиндров // Будущее машиностроения России 2011: Сб. тез. М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. С. 183-185. (0,12 п.л.)
4. Зайцев А.В. О связи конструкторских и технологических решений при технической подготовке производства // Студенческая научная весна 2012 г.: Машиностроительные технологии. Сб. тез. М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. С. 50-52. (0,15 п.л.)
5. Зайцев А.В. Автоматизация поддержки решений при подготовке производства гидроцилиндров // Известия вузов. Машиностроение. 2012. №6. С. 59-65. (0,6 п.л.)
6. Зайцев А.В., Кондаков А.И. Применение оценок подобия для поиска процессов-аналогов изготовления деталей машин // Справочник. Инженерный журнал. 2012. №7. С.13-20. (0,6 п.л. / 0,3 п.л.)
7. Кондаков А.И., Зайцев А.В. Подобие единичных процессов изготовления деталей и их ближайших процессов-аналогов // Известия вузов. Машиностроение. 2013. №5. С.39-42. (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)
8. Зайцев А.В. Повышение эффективности технической подготовки производства основных деталей гидроцилиндров // Будущее машиностроения России: сб. тр. шестой всерос. конф. молодых ученых и специалистов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. С.35-36. (0,12 п.л.)
9. Кондаков А.И., Зайцев А.В. Совершенствование подготовки производства гидроцилиндров при использовании формальных оценок подобия проектных решений // Технологическое обеспечение машиностроительных производств: сб. науч. тр. I международной заочной научно-технической конференции. Челябинск: ЮУрГУ. 2014. С.64-68. (0,3 п.л. / 0,15 п.л.)
10. Зайцев А.В. Формализованное представление и оценивание проектных решений при подготовке производства деталей гидроцилиндров // Будущее машиностроения России 2014: Сб. тез. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. С. 117-121. (0,3 п.л.)
11. Зайцев А.В. Оценка эффективности подготовки производства деталей машин // Главный механик. 2015. №1. С.33-37. (0,5 п.л.)
12. Кондаков А.И., Зайцев А.В. Параметризация процессов изготовления деталей машин // Главный механик. 2015. №5. С.31-35. (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)
13. Zaitsev A.V., Efimova S.N. The automated designing of hydrocylinders // Hdraulika i Pneumatyka. 2012. №3 P. 20-24. (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)