

005053940

На правах рукописи

Набатников Юрий Федорович

**Повышение точности изготовления силовых гидроцилиндров
механизированных крепей путем совершенствования
технологического процесса сборки**

Специальность 05.02.08 -«Технология машиностроения»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

25 ОКТ 2012

Москва 2012

**Работа выполнена в ФГБОУ ВПО
«Московский государственный горный университет»**

Научный консультант доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология машиностроения
и ремонт горных машин» ФГБОУ ВПО МГГУ
Минацакая Виктория Умедовна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
кафедры «Стандартизация, сертификация
и управление качеством производства
нефтегазового оборудования» ФГБОУ ВПО
РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина
Новиков Олег Александрович;

доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология машиностроения»
ФГБОУ ВПО МГТУ МАМИ
Вартаков Михаил Владимирович;

доктор технических наук, профессор
кафедры «Автоматизация производственных
процессов» ФГБОУ ВПО ВолгГТУ
Кристалл Марк Григорьевич

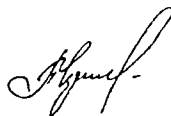
Ведущее предприятие – ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»

Защита состоится **20 ноября 2012 г. в 15 часов** на заседании диссертационного совета Д 212.200.01 при ГОУ ВПО «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина» по адресу 119991, г. Москва, Ленинский проспект, 65.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина».

Автореферат разослан « *W* » октября 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. техн. наук, доцент



Т.А. Чернова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В состав современного механизированного комплекса горнодобывающего производства входит значительное количество силовых гидроцилиндров (несколько сотен шт.), которые обеспечивают сопротивление опусканию кровли и передвижение его элементов в забое. Учитывая значимость этого оборудования для обеспечения безопасности проведения очистных работ, к силовым гидроцилиндрам предъявляются жесткие технические требования как по качеству их изготовления, так и по надежности эксплуатации.

Внутренние поверхности гидроцилиндра и грундбоксы, а также наружные поверхности штока и поршня являются рабочими, и их состояние оказывает решающее влияние на ресурс работы соединений. Основным видом отказов механизированной шахтной крепи является нарушение герметичности и протечка силовых гидроцилиндров. При этом затраты на ремонт гидроцилиндров составляют более 60% от их первоначальной стоимости. Нарушение герметичности уплотнительных узлов гидроцилиндров в процессе эксплуатации приводит к обрушению горных пород, авариям, травмам, а в некоторых случаях, и человеческим жертвам. Анализ состояния рабочих поверхностей гидроцилиндров, поступивших на капитальный ремонт, показал, что на них имеются многочисленные локальные повреждения диаметром 2...3 мм и глубиной 0,15...0,5 мм. При взаимодействии таких поверхностей с уплотнительными элементами происходит интенсивное разрушение последних, что и приводит к нарушению герметичности. Основной причиной питтинговых разрушений являются высокие контактные давления.

В настоящее время отсутствуют эффективные методы оценки влияния точности соединений и конструктивных параметров гидроцилиндра на величину контактных напряжений. С другой стороны, чем выше точность соединений, тем больше ресурс их работы. Однако заводы горного

машиностроения не располагают высокоточными технологиями изготовления деталей гидроцилиндров, соответствующим оборудованием и квалифицированными рабочими кадрами. Поэтому повышение точности соединений силовых гидроцилиндров механизированных крепей путем совершенствования технологического процесса сборки является актуальной научной проблемой, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Работа выполнена на кафедре «Технология машиностроения и ремонт горных машин» Московского государственного горного университета в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2013 годы № 02.532.12.9002».

Целью работы является повышение точности и ресурса работы соединений в силовых гидроцилиндрах шахтных стоек и домкратов передвижки секций механизированных крепей.

Методы исследований. Теоретические исследования основываются на фундаментальных положениях технологии машиностроения, теории размерных цепей, теории баз, теории упруго-пластического деформирования, теории вероятностей и математической статистики. В исследованиях использован системный анализ, метод математического моделирования на ЭВМ и метод конечных элементов для оценки влияния точности соединений и конструктивных параметров гидроцилиндра на формирование его напряженного состояния и величину контактных напряжений.

Научную новизну работы представляет решение актуальной научной проблемы – установление связей между функциональным назначением силовых гидроцилиндров механизированных крепей и параметрами их точности, а также условиями эксплуатации, что позволило разработать технологические методы повышения точности изготовления и ресурса работы гидроцилиндров. Это имеет важное научное и практическое значение. Основными составляющими научной новизны являются:

1. Математическая модель, устанавливающая взаимосвязь точности соединений и основных конструктивных параметров силового гидроцилиндра с условиями его эксплуатации и схемой нагружения.
2. Алгоритм моделирования в технологическом процессе изготовления гидроцилиндров вероятностного процесса возникновения отклонений размеров сопрягаемых деталей и формирования зазоров при их сборке.
3. Метод обоснования требуемой точности в соединениях гидроцилиндров, обеспечивающий наименьшие нормальные нагрузки в зонах контакта рабочих поверхностей и учитывающий деформации цилиндра под давлением рабочей жидкости.
4. Методика установления взаимосвязи точности соединений в гидроцилиндрах и их конструктивных параметров с напряженным состоянием в конструкции, что позволяет обосновывать их численные значения по величине контактных напряжений, исходя из служебного назначения гидроцилиндров.
5. Зависимость ресурса работы соединений от точности сборки, позволяющая устанавливать требования к точности деталей силового гидроцилиндра с условием обеспечения заданного ресурса работы.
6. Методика разработки технологического процесса сборки соединений силовых гидроцилиндров, учитывающая вероятностный характер отклонений размеров деталей, что обеспечивает заданные значения точности зазоров в соединениях в условиях различной серийности без образования незавершенного производства.

Реализация результатов работы. Результаты работы используются в ОАО «Объединенные машиностроительные технологии», ОАО «Метромаш» и ООО «Металлопласт» при проектировании механизированных крепей и разработке технологических процессов изготовления силовых гидроцилиндров, при сборке соединений деталей машин и представлены в материалах:

- «Методика обоснования точности в соединениях и конструктивных параметров гидроцилиндра по величине контактных напряжений»;
- «Методика обоснования точности изготовления сопрягаемых поверхностей гидроцилиндра во взаимосвязи с уровнем качества соединений и ресурсом их работы»;
- «Методика расчета параметров сборки, обеспечивающих заданную точность и ресурс работы соединений деталей машин в условиях мелкосерийного производства».

Научные результаты диссертации используются в учебном процессе Московского государственного горного университета при подготовке студентов по специальностям 151001 «Технология машиностроения» и 150402 «Горные машины и оборудование».

Апробация работы. Основные положения и результаты работы были доложены на международной конференции «Техника и технология сборки машин» (Польша, Жешовская политехника, 2008 г.); научной конференции «Производство. Технология. Экология» (Москва, МГТУ «Станкин», 2008 г.); международной научной конференции «Наука и молодежь в начале нового столетия» (Губкин, НБГТУ им. Шухова, 2008 г.); научно-технической конференции «Трибология – машиностроению» (Москва, институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 2008 г.); научных конференциях по математическому моделированию и информатике (Москва, МГТУ «Станкин», 2008, 2010 гг.); конференции «Автомобиле- и тракторостроение в России» (Москва, МГТУ «МАМИ», 2010 г.) международном научно-техническом семинаре «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» (Украина, Свалява, 2011 г.); международных научно-технических конференциях «Неделя горняка» (Москва, МГГУ, 2001-2012 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 30 научных работ, в том числе 18 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки России.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы (92 наименования) и приложения. Общий объем диссертации (без приложения) 211 страниц, включая 88 рисунков и 33 таблицы.

Основное содержание работы

Введение к диссертации соответствует содержанию раздела «Общая характеристика работы» настоящего автореферата.

В первой главе диссертации рассмотрены вопросы применения и особенностей эксплуатации силовых гидроцилиндров механизированных крепей, требования к качеству изготовления, виды и причины повреждений деталей соединений, причины отказов и механизм разрушения рабочих поверхностей деталей соединений.

Надежность и эффективность эксплуатации силовых гидроцилиндров в первую очередь определяются точностью изготовления их деталей и точностью сборки соединений. Вопросам точности изготовления машин и качества сборки посвящен ряд работ отечественных и зарубежных ученых. В развитие технологии машиностроения и повышение качества машин большой вклад внесли отечественные ученые Балакшин Б.С., Вартанов М.В., Кершенбаум В.Я., Коган И.А., Колесов И.М., Корсаков В.С., Кристаль М.Г., Кутин А.А., Митрофанов В.Г., Новиков О.А., Радкевич Я.М., Солод Г.И., Соломенцев Ю.М., Тимирязев В.А. и др.

Анализ результатов дефектации гидроцилиндров, поступивших в капитальный ремонт, показывает, что поверхности деталей подвержены практически всем видам износа: абразивному, коррозионно-механическому, адгезионному, усталостному, эрозионному, кавитационному, заеданию. Основной причиной потери герметичности соединений гидроцилиндров является питтинговая коррозия. В результате ее действия «зеркало» цилиндра постепенно превращается в «щетку», которая изнашивает уплотнения.

Исследованиями установлено, что основной причиной износа и разрушения рабочих поверхностей деталей соединений являются

значительные контактные напряжения. Поэтому для повышения ресурса работы соединений необходимо в первую очередь обеспечить параметры точности, при которых в соединениях имеют место наименьшие контактные напряжения. Это достигается при меньших нормальных нагрузках и давлениях в зоне контакта поверхностей, величина которых зависит от точности соединений силового гидроцилиндра (табл. 1).

Таблица 1

Математические модели изнашивания поверхностей

№ п/п	Вид изнашивания, интенсивность изнашивания	Математическая модель	Автор
1.	Абразивное	$V = c \frac{NSa}{H},$ <p>где V - объем износа; N - нормальная нагрузка; S - путь трения; a - размер абразивного зерна; H - начальная твердость металла; c - коэффициент износа</p>	М.М.Хрущев
2.	Адгезионное	$V \approx k \frac{NS}{H},$ <p>где k - коэффициент износа; H - твердость более мягкого материала; N - нормальная нагрузка; S - путь трения</p>	Д.Арчард
3.	Заседание	$\frac{\sigma}{\sigma_T} = \frac{\alpha TE \ln \frac{\tau}{\tau_0}}{3\chi\sigma_T} \leq k_{кр},$ <p>где σ - нормальное контактное напряжение; σ_T - предел текучести менее прочного материала; χ - коэффициент механической перегрузки; α - коэффициент теплового расширения; T - абсолютная температура; E - модуль упругости; τ - время трения в контакте; τ_0 - период колебания атомов; $k_{кр}$ - критическое значение критерия заседания</p>	Ю.М.Дроздов (на основе уравнения Журкова)
4.	Фрикционная усталость	$I_h = \sqrt{\frac{h}{R} \frac{p_a}{p_r} \frac{k_1 \alpha^*}{n}},$ <p>где h - глубина внедрения единичной неровности; R - радиус неровности; p_a и p_r - соответственно номинальное и фактическое давления; k_1 - коэффициент расположения неровностей по высоте; α^* - отношение номинальной площади к площади трения; n - число циклов, которое выдерживает деформированный объем до разрушения</p>	И.В.Крагельский

№ п/п	Вид изнашивания, интенсивность изнашивания	Математическая модель	Автор
5.	Коррозионно - механическое	$t = \frac{\pi a_m H}{4} \frac{1}{pv_s},$ <p>где t - время между образованием мостиков сварки; a_m - радиус круга мостика сварки; H - твердость более мягкого материала; p - среднее контактное давление; v_s - скорость скольжения</p>	Н.Сода, Т.Сасада
6.	Интенсивность изнашивания	$I_{hm} = f\left(\frac{p}{HB}, \frac{h}{Ra}, \frac{\xi p}{\sigma_0}, \frac{S_m}{Ra}\right),$ <p>где p - нормальное контактное давление; HB - твердость материала; Ra - среднеарифметические отклонения шероховатостей; h толщина смазочного слоя; ξ - коэффициент, зависящий от коэффициента трения и напряженного состояния в контакте; σ_0 - предел усталости материала; S_m - средний шаг неровностей</p>	Ю.М.Дроздов

Обоснование цели и задач исследования определялось необходимостью решения следующих проблем. Для обеспечения перемещения поршня в цилиндре и штока в грядбуксе эти соединения должны быть собраны с гарантированными зазорами. При эксплуатации под действием внешних нагрузок зазоры в соединениях изменяются и шток занимает относительно цилиндра определенное положение, зависящее от соотношения зазоров и линейных размеров деталей соединений. Таким образом, возникает задача определения положения штока относительно цилиндра и величины действующих на детали соединений нормальных нагрузок в зависимости от точности соединений и конструктивных параметров гидроцилиндра. Данная задача является вероятностной, так как зазоры в соединениях – случайные величины.

Под действием давления рабочей жидкости цилиндр деформируется, увеличиваясь в диаметре. Величина этой деформации сопоставима с зазорами в соединениях, что может привести к изменению положения штока и изменению условий контакта поверхностей. В зависимости от величины

давления рабочей жидкости деформации цилиндра могут быть упругими, упругопластическими или пластическими. В последних двух случаях имеет место накопление деформации цилиндра, что увеличивает величину зазора между поршнем и цилиндром. Это, в свою очередь, также приводит к увеличению нормальных нагрузок в зонах контакта. Поэтому при обосновании точности в соединениях деталей гидроцилиндра необходимо учитывать влияние деформации цилиндра под давлением рабочей жидкости.

Одновременно при перекосе штока относительно цилиндра, изменяются условия контакта рабочих поверхностей, а следовательно, напряжения и деформации. При контактных напряжениях выше некоторого критического уровня рабочие поверхности деталей соединений могут пластически деформироваться и разрушаться. Поэтому обоснование точности соединений и конструктивных параметров гидроцилиндра необходимо проводить с учетом рассмотренных факторов точности.

Заданная точность и ресурс работы соединений гидроцилиндра должны быть обеспечены при его изготовлении. Прежде всего это касается точности изготовления рабочих поверхностей гидроцилиндра и точности сборки. Расчетная точность в соединениях рабочих поверхностей может оказаться технически трудно достижимой и требующей больших затрат в условиях мелкосерийного производства. Поэтому в этом случае необходима разработка специального метода сборки, позволяющего при относительно невысокой точности изготовления сопрягаемых поверхностей обеспечить в соединениях требуемую точность.

Следует отметить, что вероятностный характер возникновения отклонений размеров при изготовлении и зазоров при сборке деталей гидроцилиндров предопределяет применение соответствующих методов исследований, в частности метода математического моделирования на ЭВМ с использованием закономерностей теории вероятностей. Это потребовало разработать специальные алгоритмы и программные средства. Поэтому для

достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Разработать математическую модель взаимосвязи точности и основных конструктивных параметров силового гидроцилиндра со схемой его нагружения с учетом вероятностного процесса формирования отклонений размеров поверхностей при изготовлении деталей и зазоров при сборке;
2. Разработать программное обеспечение для моделирования на ЭВМ:
 - схем базирования штока в цилиндре;
 - точности сборки;
 - конструктивных параметров, обеспечивающих наименьшие нагрузки в местах контакта рабочих поверхностей.
3. Разработать метод обоснования точности в соединениях рабочих поверхностей с учетом деформации цилиндра под давлением рабочей жидкости. Установить параметры точности в соединениях, обеспечивающие минимальные нормальные нагрузки в местах сопряжения поверхностей;
4. Обосновать требования точности в соединениях силового гидроцилиндра с учетом величины контактных напряжений. Определить зависимости контактных напряжений от точности соединений и конструктивных параметров силового гидроцилиндра.
5. Установить взаимосвязь точности соединений и уровня их качества с ресурсом работы узла. Выявить параметры точности соединений, обеспечивающие наибольший ресурс;
6. Разработать вероятностную модель и метод достижения точности зазоров при сборке соединений силовых гидроцилиндров в условиях мелкосерийного производства.

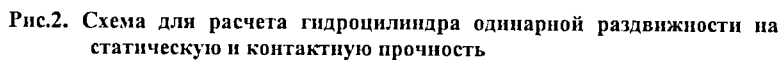
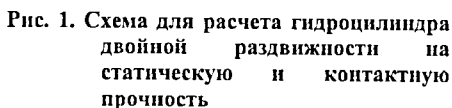
Во второй главе рассмотрена взаимосвязь служебного назначения силовых гидроцилиндров с точностью соединений и их деталей и схемой нагружения. При проектировании силовых гидроцилиндров их

рассматривают как раздвижные ступенчатые стержневые системы с шарнирным опиранием концов, а расчеты на статическую прочность и устойчивость проводят по отраслевому стандарту ОСТ 12.44.245-83 (рис. 1, рис. 2).

Существенным недостатком данных методических рекомендаций является невозможность их использования для обоснования точности соединений силовых гидроцилиндров. Численные расчеты, проведенные в соответствии с этим стандартом, показали, что величина допускаемых зазоров в соединениях, при которых обеспечивается заданный запас прочности гидроцилиндров, больше чем на порядок превышает точность соединений принятую в практике проектирования. Стандарт не учитывает также влияние ряда параметров на величину действующих нагрузок и формирование контактных давлений, которые непосредственно отражаются на ресурсе работы узла.

Особенностью расчетных схем силовых гидроцилиндров является то, что изгибающий момент, действующий на заделку, воспринимается цилиндром и грундебуксой. Однако анализ размерных связей в гидроцилиндре показал, что возможны три схемы базирования штока в цилиндре. Такая неопределенность базирования связана со случайным сочетанием зазоров в соединениях. В зависимости от соотношений конструктивных параметров элементов заделки и зазоров в их соединениях возможные контакты рабочих поверхностей могут происходить по схемам, представленным на рис. 3. При реализации перекоса штока по схеме 2 или 3 в гидроцилиндре формируется состояние критического нагружения, при котором нормальные нагрузки в зоне контакта поверхностей увеличиваются минимум в два раза.

В результате исследований выявлены условия, исключаяющие возникновение состояний критического нагружения. Путем математического моделирования на ЭВМ обоснованы требования к точности деталей и их



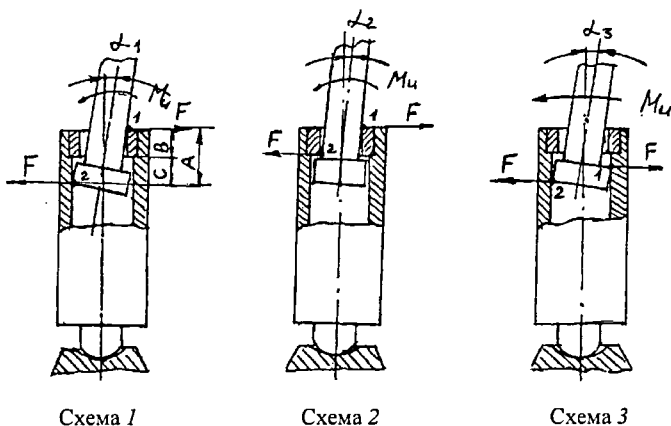


Рис. 3. Схемы перегиба штока относительно цилиндра и контакта рабочих поверхностей, возникающих при смене баз

В случае перегиба по первой схеме изгибающий момент (M_b), действующий на заделку, воспринимается грундбуксой и цилиндром. Нормальная нагрузка в местах контакта поверхностей (F) действует на плече A . Эта схема является наиболее благоприятной, так как в этом случае плечо максимально, а сила минимальна. При перегибе по второй схеме изгибающий момент воспринимается грундбуксой. Сила F действует на плече $B < A$. В третьем случае изгибающий момент воспринимается цилиндром, а сила F действует на плече $C < A$. Очевидно, что при перегибе штока по схемам 2 и 3 нормальная нагрузка в зоне контакта поверхностей увеличивается соответственно в A/B и A/C раз по сравнению со схемой 1.

Исследованием установлены количественные условия реализации каждого из состояний, представленных тремя схемами. Эти условия сводятся к следующему. Углы перегиба штока относительно цилиндра определяются матричным выражением:

$$\begin{vmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{2A}(S_{\Pi} + S_{Ш} + S_{ВГ}) \\ \frac{S_{Ш}}{B} \\ \frac{S_{\Pi}}{C} \end{vmatrix}, \text{ (рад),}$$

где $S_{\Pi}; S_{Ш}; S_{ВГ}$ - соответственно диаметральные зазоры в соединениях цилиндр – поршень, грундбукса – шток, карман цилиндра - грундбукса; A, B, C - линейные размеры элементов заделки, мм.

С учетом того, что в каждом конкретном случае имеет место реализация наименьшего из возможных перемещений, условием возникновения первого состояния (схема 1) является:

$$\alpha_1 < \alpha_2 \text{ и } \alpha_1 < \alpha_3;$$

второе состояние (схема 2) имеет место в случае, когда: $\alpha_2 < \alpha_1$ и $\alpha_2 < \alpha_3$;

третье состояние (схема 3) возникает при: $\alpha_3 < \alpha_1$ и $\alpha_3 < \alpha_2$.

Полагая, что $A=B+C$; $k=B/C$; $\Sigma S = (S_{\Pi} + S_{Ш} + S_{ВГ})$, получим условие реализации первого состояния (схема 1):

$$\Sigma S < 2S_{Ш} (1+k)/k \text{ и } \Sigma S < 2S_{\Pi} (1+k).$$

Второе состояние (схема 2) реализуется при:

$$\Sigma S > 2S_{Ш} (1+k)/k \text{ и } S_{Ш} < kS_{\Pi}.$$

Третье – при: $\Sigma S > 2S_{\Pi} (1+k)$ и $S_{\Pi} < S_{Ш}/k$.

Исследования процесса сборки показывают, что зазоры в соединениях являются случайными величинами, так как детали изготавливаются независимо друг от друга и собираются в узлы без учета их фактических размеров. В связи с этим перекосы штока относительно цилиндра имеют вероятностный характер. Поэтому в диссертации была поставлена и решена задача по определению параметров точности (вида посадок) в соединениях и соотношения линейных размеров элементов заделки, гарантированно обеспечивающих базирование штока в цилиндре по состоянию 1 (схема 1). Была разработана специальная программа для моделирования на ЭВМ точности положения штока в заделке гидроцилиндра.

Программа рассчитывает вероятность возникновения перекосов штока при неблагоприятных состояниях (схема 2 и 3) с учетом возникновения упругой деформации цилиндра под давлением рабочей жидкости (рис. 4).

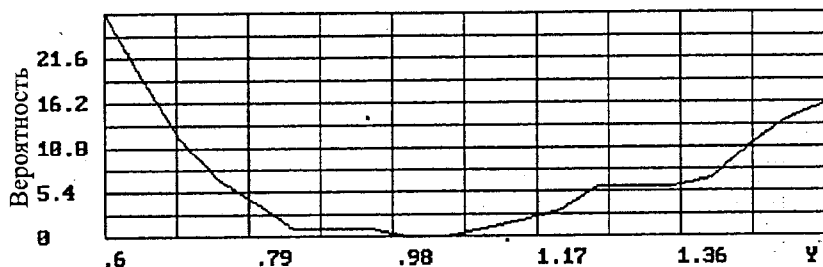


Рис. 4. Вероятность (%) от общего количества гидроцилиндров) возникновения перекосов штока по схемам 2 и 3 в зависимости от параметра $k=Y$

Деформация рассчитывается по формуле Ляме, и ее величина сопоставима с зазором в соединении цилиндр – поршень. Программа позволяет оценивать накопление величин пластических деформаций на внутренней поверхности цилиндра. При этом учитывается возможное превышение давления рабочей жидкости критического значения. Входными параметрами являются: предельные отклонения размеров, определяемые системой допусков и посадок; законы распределения отклонений размеров; количество моделируемых гидроцилиндров; давление рабочей жидкости в цилиндре; предел текучести материала цилиндра; значение параметра k , определяющего соотношение линейных размеров деталей в соединении.

Случайная величина отклонения размера X_i сопрягаемой поверхности (цилиндра, поршня, штока, грядбуксы и т.п.) вычисляется по формуле:

$$\left| \begin{matrix} x_i \\ x_i \\ x_i \end{matrix} \right| = \alpha \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2} + \left| \begin{matrix} (x_{\max} - x_{\min}) RND(1) \\ (x_{\max} - x_{\min}) \frac{RND(1) + RND(1)}{2} \\ (x_{\max} + x_{\min}) \frac{2}{2} \end{matrix} \right| + \left| \begin{matrix} x_{\min} \\ x_{\min} \\ (x_{\max} - x_{\min}) S_n \end{matrix} \right| \left| \begin{matrix} \text{рав.вероятность} \\ \text{зак.Симпсона} \\ \text{зак.Гауса} \end{matrix} \right|$$

где $S_n = g - 6$, $g = \sum_{i=1}^{12} RND(1)$; x_{\min} и x_{\max} – соответственно нижнее и верхнее предельные отклонения размера; α – коэффициент относительной асимметрии, характеризующий смещение фактического центра группирования отклонений размеров относительно середины поля допуска; $RND(1)$ – датчик случайных чисел от 0 до 1.

Моделирование точности сборки узла на ЭВМ и выявление схем перекоса штока позволили установить:

- вероятность возникновения перекосов штока по неблагоприятным состояниям (схемы 2, 3) равна или близка к нулю, когда величины зазоров в соединениях цилиндр – поршень и грундбукса – шток сопоставимы по величине. При этом учитывается деформация цилиндра под давлением рабочей жидкости. Зазор в соединении карман цилиндра – грундбукса должен быть минимален или отсутствовать;
- требуемую точность в соединениях и диапазон значений конструктивных параметров, при которых вероятность возникновения неблагоприятных состояний перекоса штока равна нулю;
- наибольший ресурс работы соединений обеспечивается при точности в соединениях вида H/f ($H7/f7 \dots H9/f9$). При таких посадках вероятность возникновения неблагоприятных схем перекоса штока практически равна нулю, если конструктивные параметры заделки соотносятся как: $B=0,5A$, $C=0,5A$. Это позволяет обеспечить нормальную нагрузку в местах контакта рабочих поверхностей (F) в 2 раза меньшую чем при состояниях по схемам 2 и 3.

В третьей главе исследовано влияние условий эксплуатации на отклонения параметров точности соединений силовых гидроцилиндров. Выявлено влияние упругой и пластической деформации рабочих поверхностей силовых гидроцилиндров на возникновение критического нагружения. Установлено влияние точности соединений на величину действующих нагрузок и запас прочности силовых цилиндров.

При нагружении гидроцилиндра давлением выше критического уровня накопленная величина пластической деформации внутренней поверхности цилиндра становится такой, что в 50-ти случаях из 100 реализуется перекос штока по схеме 2, а нормальная нагрузка в зоне контакта рабочих поверхностей увеличивается в два раза. Это проявляется уже после 20...30 циклов нагружения гидроцилиндра. Поэтому эксплуатация гидроцилиндров в этих условиях считается нецелесообразной.

В результате исследований установлено, что при точности в соединениях гидроцилиндра, когда обеспечивается состояние 1 (рис. 3), влияние угловых отклонений штока на нагрузку незначительно. При увеличении зазоров в соединениях силового гидроцилиндра в два раза изгибающие моменты увеличиваются всего на 3%. Однако это влияет на величину контактных напряжений, так как от точности соединений зависят условия контакта рабочих поверхностей деталей.

В четвертой главе рассмотрено влияние точности соединений на напряженное состояние силового гидроцилиндра. Исследования, проведенные в ИМАШ РАН им. А.А. Благонравова показали, что для одних частных случаев эта задача имеет аналитическое решение, а для других – приближенно аналитическое. Однако эффективный алгоритм достаточно точного решения этой задачи в настоящее время отсутствует. Поэтому возникла необходимость установления зависимостей контактных напряжений от точности соединений силового гидроцилиндра и его конструктивных параметров. Эти зависимости были выявлены путем моделирования на ЭВМ напряженных состояний силового гидроцилиндра с

использованием метода конечных элементов и программного комплекса “SolidWorks-COSMOSWorks” (рис. 5, 6).

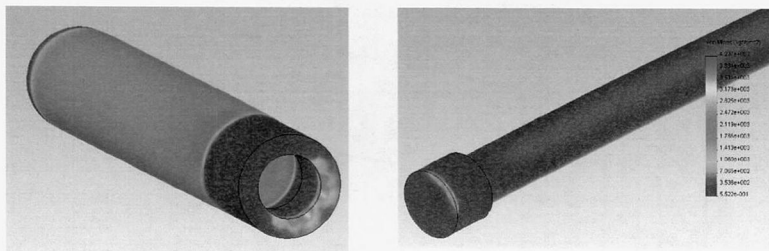


Рис.5. Напряженное состояние деталей гидроцилиндра

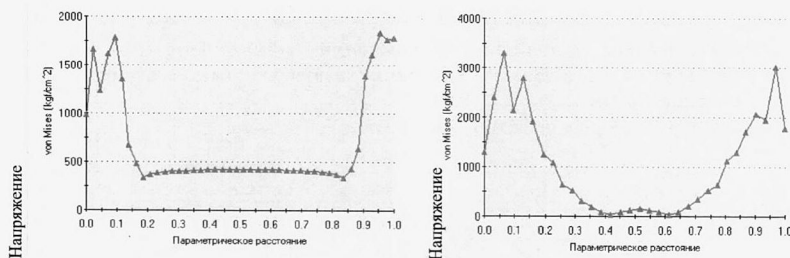


Рис.6. Распределение напряжений по кромкам контакта

Аппроксимация результатов моделирования позволила установить зависимости контактных напряжений от точности соединений силового гидроцилиндра и его конструктивных параметров. Были установлены конкретные функциональные зависимости контактных напряжений от величины зазора в соединении (рис. 7) и базы заделки (рис. 8). На этой основе была получена общая функциональная зависимость в виде:

$$G = C_o S^x \left(\frac{a}{d_{II}} \right)^y,$$

где a – база заделки, мм; d_{II} – внутренний диаметр цилиндра, мм; S – зазор в соединении, мм.

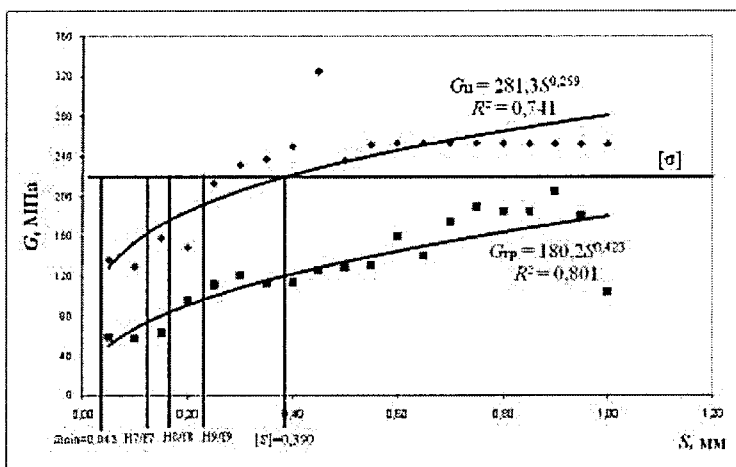


Рис. 7. Зависимость контактных напряжений на цилиндре ($G_{\text{ц}}$, МПа) и
 грундбуксе ($G_{\text{гр}}$, МПа) от величины зазора (S , мм) между рабочими
 поверхностями:
 $[\sigma]$ – допускаемое контактное напряжение

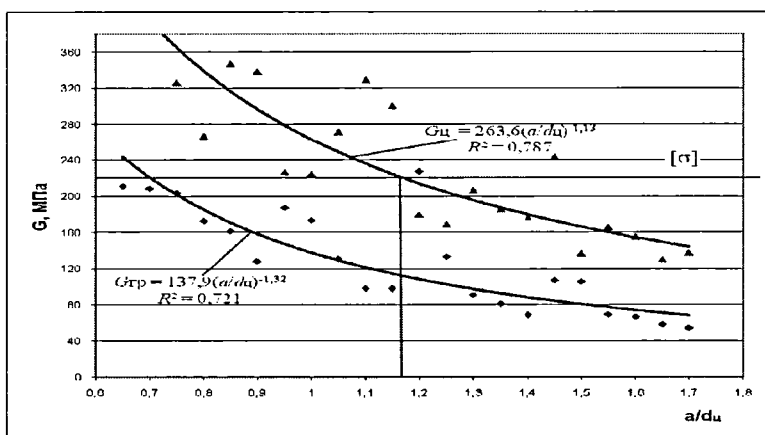


Рис. 8. Зависимость контактных напряжений на цилиндре ($G_{\text{ц}}$, МПа) и
 грундбуксе ($G_{\text{гр}}$, МПа) от базы заделки (a/d_u)

Значения коэффициента C_0 и показателей степеней x , y определялись
 путем обработки экспериментальных данных по результатам моделирования

напряженных состояний гидроцилиндра на ЭВМ. Так, для степенных функций, представленных на рис. 7 и рис. 8, общая функциональная зависимость контактных напряжений на внутренней поверхности цилиндра от точности соединений и конструктивных параметров имеет вид:

$$G_{ц} = 310S^{0,26} \left(\frac{a}{d_{ц}} \right)^{-1,13}.$$

На рис. 7 приведена зависимость, которая позволяет:

- определить величину предельного зазора в соединениях $[S]$. При зазорах, превышающих предельное значение, поверхности деталей могут разрушаться, а интенсивность износа резко возрастать;
- установить предпочтительную точность зазоров и точность изготовления деталей соединений;
- по интенсивности изнашивания поверхностей (I_{hm}) и величине зазоров определить ресурс соединений:

$$\left| \begin{array}{c} N_{ц\ min} \\ N_{ц\ max} \\ N_{ц\ ср} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} \frac{[S] - S_{max}}{I_{hm}} \\ \frac{[S] - S_{min}}{I_{hm}} \\ \frac{[S] - S_{ср}}{I_{hm}} \end{array} \right|,$$

где $N_{ц\ min}$, $N_{ц\ max}$ и $N_{ц\ ср}$ - минимальный, максимальный и средний ресурс, выраженный в количестве циклов нагружения гидроцилиндра; S_{min} , S_{max} , $S_{ср}$ - минимальный, максимальный и средний зазор в соединениях согласно принятым посадкам; I_{hm} - износ за один цикл нагружения, мм.

Зависимость, приведенная на рис. 8, позволяет определить геометрическую точность заделки, величина которой должна превышать внутренний диаметр цилиндра более чем на 20%, т. е. $a > 1,2d_{ц}$.

Исследованиями установлено, что для снижения контактных напряжений на рабочих поверхностях соединений и для повышения ресурса

их работы целесообразно обеспечить точность в соединениях по 7–8 качеству.

В пятой главе изложены результаты исследования взаимосвязи точности соединений в силовых гидроцилиндрах с ресурсом их работы.

Эти задачи решаются путем моделирования на ЭВМ технологических процессов сборки гидроцилиндров. Для этого разработано соответствующее программное обеспечение. Допуски на параметры точности деталей и соединений должны учитывать две составляющие - часть допуска, определяющую точность изготовления и часть допуска на износ в процессе эксплуатации. На рис. 9 показана схема, определяющая влияние достигнутой точности сборки на ресурс работы соединений. Схема показывает, что соединение, собранное с минимально допустимым по технической документации зазором S_{\min} , будет иметь наибольший ресурс $N_{\eta, \max}$ по сравнению с соединениями, в которых имеют место большие зазоры. Для количественной оценки влияния точности сборки на ресурс работы соединения установлена его взаимосвязь с уровнем качества сборки:

$$\frac{N_o}{N_{o, \max}} = 1 - \frac{1,05\sqrt{1-K_c}}{k_p}, \quad K_c = 1 - \frac{(S - S_{\min})^2}{(1,05ITS)^2},$$

где $k_p = ITS_p / ITS > 1$ – коэффициент запаса ресурса соединения по точности; K_c – уровень качества сборки соединения при изготовлении.

В результате проведенных исследований получена зависимость ресурса работы соединения от точности сборки, которая представлена на рис. 10. Она позволяет выявить требования точности изготовления сопрягаемых деталей при обеспечении заданного ресурса работы соединений. Для достижения наибольшего ресурса работы соединения необходимо обеспечить уровень качества сборки близкий к единице. Этого можно достичь при сборке, обеспечивающей в соединениях наименьшие зазоры.

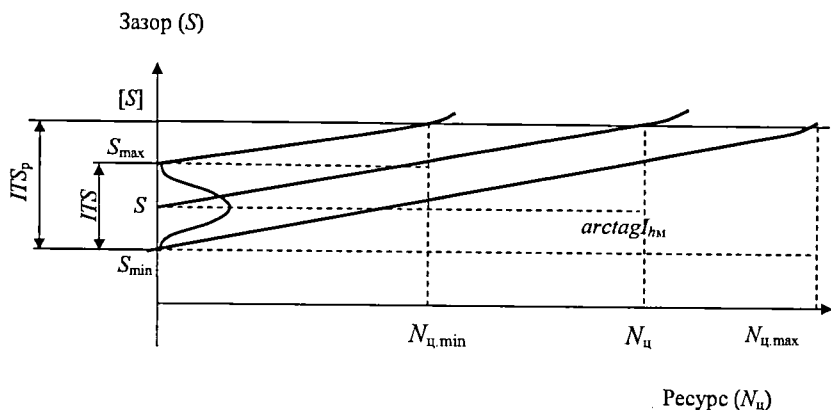


Рис. 9. Кривые изнашивания соединения без учета приработки:

ITS – допуск на зазор при сборке соединения (при изготовлении гидроцилиндра); $ITS_p = [S] - S_{min}$ – эксплуатационный допуск на зазор в соединении; $[S]$ – предельный зазор

В шестой главе рассмотрены технологические задачи обеспечения точности обработки рабочих поверхностей силовых гидроцилиндров и задачи обеспечения при сборке требуемой точности зазоров в соединениях с использованием методов полной и групповой взаимозаменяемости.

При точности сборки соединений по посадке Н9/ф9, что соответствует рабочим чертежам гидроцилиндров, зазоры в соединениях гидроцилиндров в одной партии могут различаться более чем в шесть раз. Такое распределение соединений по ресурсу их работы представлено на рис.10. Это означает, что ресурс работы соединений гидроцилиндров в партии может отличаться более чем в два раза. Поэтому действующая технология изготовления и сборки деталей соединений не позволяет обеспечить стабильность качества соединений в гидроцилиндрах по ресурсу работы. Это существенно влияет на надежность и эффективность эксплуатации механизированной крепи в целом.

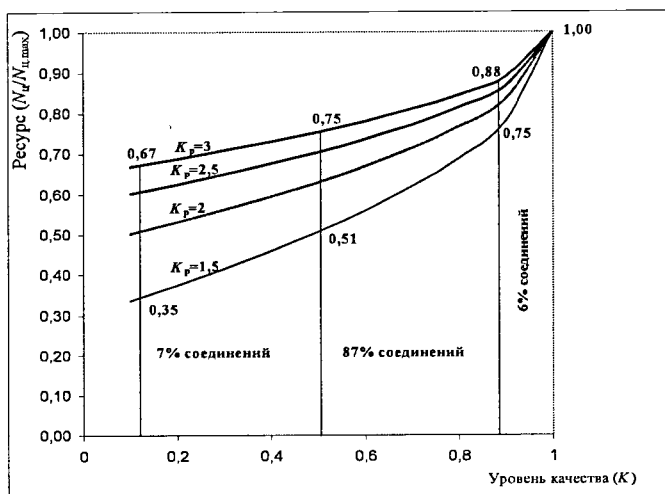


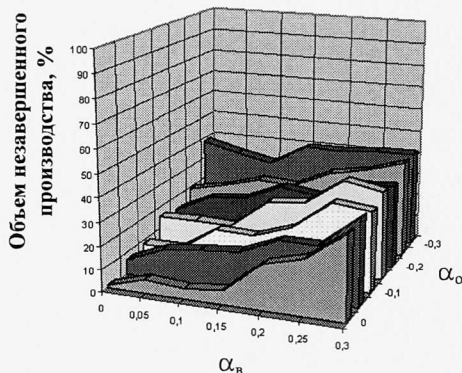
Рис. 10. Зависимость ресурса соединений от уровня качества при различных значениях k_p (9-й квалитет точности сопрягаемых поверхностей, сборка – методом полной взаимозаменяемости)

Зависимость, приведенная рис. 10, показывает также, что для достижения ресурса, составляющего не менее 85...95% максимально возможного значения, уровень качества сборки соединений должен быть равен $K_c=0,9...1,0$. Такого значения уровня качества можно достигнуть при точности соединений по 7-му квалитету.

Практика заводов горного машиностроения показывает, что достижение такой точности является проблематичным. Поэтому для повышения ресурса работы соединений гидроцилиндров при точности изготовления сопрягаемых деталей по 9 квалитету необходимо собирать соединения с обеспечением точности зазоров по 7 квалитету. Для решения этой задачи предложено использовать метод селективной сборки.

Моделирование на ЭВМ сборки соединений методом групповой взаимозаменяемости в условиях мелкосерийного производства выявило ограниченность его возможностей. При мелкосерийном производстве весьма велика доля образования некомплектных деталей, образующих объем

незавершенного производства. Объем незавершенного производства в этом случае может достигать 40–50% от программы производства даже при однотипных законах распределения отклонений размеров цилиндров и поршней (рис. 11).



Параметр	Значение
Допуск, $ITA=ITB$, мкм	150
Максимальный зазор, S_{\max} , мкм	150
Минимальный зазор, S_{\min} , мкм	50
Групповые допуски, $a=b=ITS/2$, мкм	50
Количество групп, $n_1=n_2$	3
Нижнее предельное отклонение размера вала (поршня), eib , мкм	-100
Закон распределения размеров вала (поршня)	нормальный
Закон распределения размеров отверстия (цилиндра)	нормальный
Объем производства, шт.	200

Рис. 11. Объем незавершенного производства (в процентах от общего количества соединений) при сборке методом групповой взаимозаменяемости ($a=b=ITS/2$):

α_b — коэффициент асимметрии для закона распределения размеров вала (поршня); α_o — то же для отверстия (цилиндра).

Основная причина образования некомплектных деталей — существенное влияние законов распределения отклонений размеров деталей. При использовании данного метода достижения точности необходимо обеспечить одинаковые законы распределений отклонений размеров отверстий и валов с однонаправленной асимметрией. Выполнить эти требования в реальном производстве не представляется возможным. При изготовлении отверстий в цилиндрах их размеры обычно смещены в сторону меньших значений, а при изготовлении валов — в сторону больших значений. Это обуславливает разнонаправленную асимметрию законов распределения отклонений размеров деталей. Анализ характера распределений отклонений

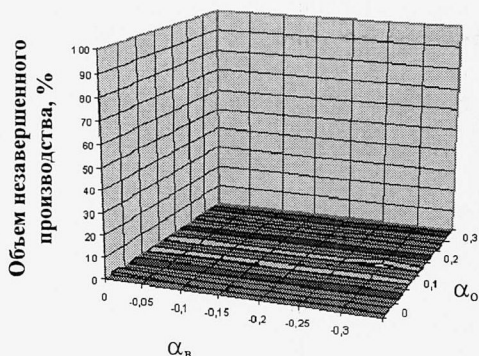
внутренних диаметров цилиндров в различных сечениях по длине показал, что законы распределения отклонений размеров в различных сечениях существенно отличаются друг от друга как по виду, так и по количественным параметрам. Поэтому обеспечить определенные законы распределения отклонений размеров деталей и на этой основе реализовать технологический процесс сборки соединений, обеспечивающий минимальное количество некомплектных деталей, практически не представляется возможным.

В седьмой главе рассмотрены теоретические вопросы обеспечения заданной точности соединений силовых гидроцилиндров с использованием предложенного метода межгрупповой взаимозаменяемости.

Этот метод разработан для условий мелкосерийного производства. Отличительной особенностью данного метода является возможность комплектации определенной размерной группы охватывающих деталей (отверстий) охватываемыми деталями (валами) из нескольких групп. Это делает сборку соединений независимой или мало зависимой от типов законов распределения отклонений размеров, их сочетаний и асимметрии, т.е. от случайных составляющих процессов, что позволяет уменьшить объем незавершенного производства (рис. 12).

В диссертации установлено, что сборка этим методом в общем случае может проводиться с различными допусками на отклонения размеров отверстия и вала, различными по величине групповыми допусками, при различном количестве размерных групп для деталей типа «отверстие» и типа «вал» без образования брака в соединениях.

Вариант сборки, рекомендуемый для практического использования, должен обеспечивать вероятность образования некомплектных деталей равную или близкую к нулю и стабильность соединений по точности и ресурсу работы. В диссертации сформулированы требования к параметрам сборки, обеспечивающим эти условия.



Параметр	Значение
Допуск, $ITA=ITB$, мкм	120
Максимальный зазор, S_{\max} , мкм	150
Минимальный зазор, S_{\min} , мкм	50
Групповые допуски, $a=b=ITS/5$, мкм	20
Количество групп, $n_1=n_2$	6
Нижнее предельное отклонение размера вала (поршня), eib , мкм	-110
Закон распределения размеров вала (поршня)	равномерный
Закон распределения размеров отверстия (цилиндра)	нормальный
Объем производства, шт.	200

Рис. 12. Объем незавершенного производства при сборке методом межгрупповой взаимозаменяемости. Разнотипные законы распределения размеров цилиндра и поршня ($a=b=ITS/5$)

В результате исследований, проведенных путем математического моделирования метода межгрупповой взаимозаменяемости на ЭВМ, установлены параметры сборки, обеспечивающие повышение точности соединений на один и два квалитета (табл. 2). Эти параметры получены при следующих условиях:

- допуски на отклонения размеров отверстий и валов от номинального значения соответствуют действующей системе допусков и посадок и равны друг другу ($ITA=ITB$);
- групповые допуски на отклонения размеров деталей типа «отверстие» и типа «вал» равны между собой ($a=b$);
- законы распределения отклонений размеров отверстий и валов могут быть однотипными (например, близкий к нормальному закон распределения для отверстий и близкий к нормальному закон распределения для валов) и разнотипными (например, близкий к нормальному закон распределения для отверстий и близкий к равномерному закон распределения для валов);

- коэффициенты относительной асимметрии могут принимать значения от $\alpha_0=0$ до $\alpha_0=-0,5$ для закона распределения отклонений размеров отверстий и от $\alpha_b=0$ до $\alpha_b=+0,5$ для валов;
- количество деталей типа «отверстие» равно количеству деталей типа «вал» и равно общему количеству соединений.

Из данных табл. 2 следует, что при повышении точности соединений на один квалитет наибольшая независимость сборки от типов законов распределения отклонений размеров сопрягаемых поверхностей, их количественных параметров и асимметрии достигается при групповых допусках $a=b=ITS/5$. Кроме того, разработан метод селективной сборки, повышающий точность соединений без изменения действующей технологии изготовления сопрягаемых деталей, и определены параметры, при которых возможно его использование.

Для повышения точности соединений на два квалитета рекомендовано проводить сборку со следующими групповыми допусками: $a=b=ITS/5$ или $a=b=ITS/6$, если законы распределений отклонений размеров сопрягаемых поверхностей однотипны. Если эти законы разнотипны – с групповыми допусками: $a=b=ITS/6$ или $a=b=ITS/8$ (табл. 2).

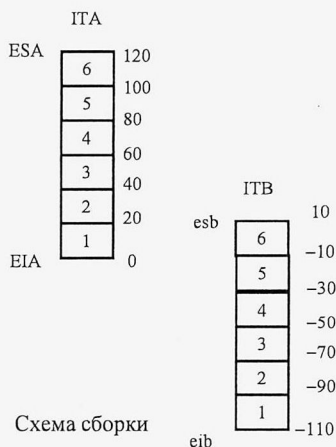
Необходимо отметить, что полученные результаты (табл. 2) распространяются на квалитеты точности от 6-го до 16-го и все интервалы размеров в соответствии с действующей системой допусков и посадок.

Анализ результатов моделирования проводился по величине зазоров в соединениях, по уровню качества и по количеству комплектных деталей. Результаты анализа показали, что достигнутый ресурс работы соединений гидроцилиндров составляет 85...95% от максимально возможного при вероятности образования и накопления некомплектных деталей равной нулю. Для варианта сборки, представленного на рис. 13, определен объем незавершенного производства при сборке всего 50 соединений. Результаты моделирования для этого случая подчеркивают малую зависимость результатов сборки от программы производства, т. е. от его серийности.

Таблица 2

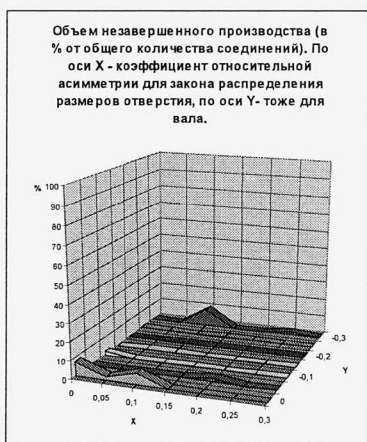
Параметры сборки соединений методом межгрупповой взаимозаменяемости, при которых некомплектные детали не образуются

№ п/п	Групповой допуск для отклонений размеров отверстий (a) и валов (b); $a=b$	Нижнее предельное отклонение размеров вала (eib)	Кол-во размерных групп для деталей типа отверстие и вал	Коэффициенты относительной асимметрии для законов распределения отклонений размеров		Средний зазор (в % от среднего заданного значения)
				Для деталей типа отверстие	Для деталей типа вал	
Повышение точности соединений на один квалитет						
Однотипные законы распределения отклонений размеров отверстий и валов						
1.	$a=b=ITS/4$	$eib=-S_{\max}+2a$	4	-0,3	от 0 до +0,3	80
				-0,2	от 0 до +0,4	82
				-0,1	от 0 до +0,4	86
				0	от 0 до +0,5	90
2.	$a=b=ITS/5$	$eib=-S_{\max}+2a$	5	-0,5	от 0 до +0,5	80
				-0,4	от 0 до +0,5	84
				-0,3	от 0 до +0,5	88
				-0,2	от 0 до +0,5	92
				-0,1	от 0 до +0,5	96
				0	от 0 до +0,5	101
Разнотипные законы распределения отклонений размеров отверстий и валов						
3.	$a=b=ITS/5$	$eib=-S_{\max}+2a$	5	-0,5	от 0 до +0,5	85
				-0,4	от 0 до +0,5	89
				-0,3	от 0 до +0,5	93
				-0,2	от 0 до +0,5	97
				-0,1	от 0 до +0,5	102
				0	от 0 до +0,5	106
Повышение точности соединений на два квалитета						
Однотипные законы распределения отклонений размеров отверстий и валов						
4.	$a=b=ITS/6$	$eib=-S_{\max}+2a$	8	-0,5	от 0 до +0,3	82
				-0,4	от 0 до +0,4	84
				-0,3	от 0 до +0,5	87
				-0,2	от 0 до +0,5	93
				-0,1	от 0 до +0,5	97
				0	от 0 до +0,5	103
Разнотипные законы распределения отклонений размеров отверстий и валов						
5	$a=b=ITS/6$	$eib=-S_{\max}+2a$	8	-0,4	от 0 до +0,3	91
				-0,3	от 0 до +0,5	93
				-0,2	от 0 до +0,5	99
				-0,1	от +0,1 до +0,5	103
				0	от +0,2 до +0,5	107
6.	$a=b=ITS/8$	$eib=-S_{\max}+3a$	10	-0,4	от 0 до +0,1	92
				-0,3	от 0 до +0,5	89
				-0,2	от 0 до +0,5	94
				-0,1	от 0 до +0,5	100
				0	от 0 до +0,5	104



Номер размерной группы цилиндров	Номера размерных групп поршней
1	1, 2, 3
2	1, 2, 3, 4
3	2, 3, 4, 5
4	3, 4, 5, 6
5	4, 5, 6
6	5, 6

Порядок комплектации цилиндров поршнями



Параметр	Значение
Допуск, $ITA=ITB$, мкм	120
Максимальный зазор, S_{max} , мкм	150
Минимальный зазор, S_{min} , мкм	50
Групповые допуски, $a=b=ITS/5$, мкм	20
Количество групп, $n_1=n_2$	6
Нижнее предельное отклонение размера вала, eib , мкм	-110
Закон распределения размеров вала	нормальный
Закон распределения размеров отверстия	равномерный
объем производства, штук	50

Рис. 13. Объем незавершенного производства при сборке методом межгрупповой взаимозаменяемости. Разнотипные законы распределений отклонений размеров отверстий и валов, $a=b=ITS/5$. Объем производства – 50 шт.

Следует отметить, что сборку соединений методом межгрупповой взаимозаменяемости можно проводить и с меньшим количеством размерных групп и большими групповыми допусками. Однако в этом случае необходимо контролировать параметры законов распределений отклонений размеров, численные значения которых представлены в диссертации, и проводить соответствующую наладку оборудования.

Раздел «Заключение» в диссертации соответствует аналогичному разделу в автореферате.

Результаты научных исследований нашли внедрение на производстве при проектировании и изготовлении силовых гидроцилиндров в ОАО «Объединенные машиностроительные технологии», при селективной сборке соединений в ОАО «Метромаш» и ООО «Металлопласт», а также используются в учебном процессе вузов при подготовке специалистов по специальностям 151001 «Технология машиностроения» и 150402 «Горные машины и оборудование». Экономический эффект от внедрения предложенной технологии селективной сборки только в ООО «Металлопласт» составил 4,5 млн. рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе в результате проведенных исследований дано решение актуальной научной проблемы – установление связей между функциональным назначением силовых гидроцилиндров механизированных крепей с параметрами их точности и условиями эксплуатации, что позволило разработать технологические методы повышения точности изготовления и ресурса работы гидроцилиндров. Это имеет важное научное и практическое значение. Основные научные выводы и практические результаты заключаются в следующем:

1. Разработанная математическая модель устанавливает взаимосвязи точности соединений и основных конструктивных параметров силовых гидроцилиндров с условиями его эксплуатации и схемой нагружения.

2. Предложенный алгоритм моделирования технологического процесса изготовления силовых гидроцилиндров позволяет учитывать вероятностный характер формирования отклонений размеров сопрягаемых деталей на величину зазоров в соединениях, получаемых при сборке.
3. Предложенный метод определения требуемой точности зазоров в соединениях силовых гидроцилиндров обеспечивает наименьшие нормальные нагрузки в зонах контакта рабочих поверхностей с учетом деформации цилиндра под давлением рабочей жидкости.
4. Разработанная методика позволяет выявить взаимосвязи точности в соединениях силовых гидроцилиндров и их конструктивных параметров с напряженным состоянием в конструкции, что позволяет обосновывать числовые значения точности в соединениях по величине контактных напряжений с учетом их служебного назначения.
5. Выявленная зависимость ресурса работы соединений силовых гидроцилиндров от точности сборки позволяет установить требования к точности деталей, исходя из условий обеспечения заданного ресурса работы соединений.
6. Предложена методика и на ее основе разработана технология сборки соединений, учитывающая вероятностный характер отклонений размеров деталей, что позволяет обеспечить требуемые значения зазоров в соединениях при различной серийности изготовления изделий.
7. Предложенный метод межгрупповой взаимозаменяемости позволяет эффективно использовать селективную сборку в условиях мелкосерийного производства и обеспечивает повышение ресурса работы соединений силовых гидроцилиндров до 85...95%.
8. Результаты научных исследований внедрены на производстве при изготовлении силовых гидроцилиндров, при селективной сборке соединений деталей машин и в учебном процессе ВУЗов при

подготовке специалистов по специальностям 151001 «Технология машиностроения» и 150402 «Горные машины и оборудование». Экономический эффект от внедрения предложенной технологии селективной сборки только в ООО «Металлопласт» составил 4.5.млн. рублей.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

публикации в журналах из перечня ВАК:

1. Набатников Ю.Ф. Расчет параметров расширенного метода групповой взаимозаменяемости // Технология машиностроения. – 2009. - №10 – С. 17-18.
2. Набатников Ю.Ф. Снижение незавершенного производства при селективной сборке // Технология машиностроения. – 2009. – №11. – С. 23-25.
3. Набатников Ю.Ф. Обеспечение заданного ресурса соединений деталей машин // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2011. – №4. – С. 3–8.
4. Набатников Ю.Ф. Метод селективной сборки соединений деталей машин в условиях мелкосерийного производства // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2012. – №9. – С. 19-32.
5. Островский М.С., Набатников Ю.Ф., Белянкина О.В. Обоснование конструктивных параметров гидростойки механизированной крепи с учетом контактных взаимодействий поверхностей // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. – №10. – С.16-18.
6. Набатников Ю. Ф. Повышение ресурса соединений деталей машин с зазором // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 4. – С. 15-18.
7. Набатников Ю.Ф., Сизова Е.И. Повышение ресурса гидростойки механизированной крепи методом межгрупповой взаимозаменяемости // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – №1. – С.47-51.
8. Набатников Ю.Ф., Сизова Е.И., Белянкина О.В. Зависимость ресурса

- гидростойки от уровня качества соединений // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – №10. – С. 29-32.
9. Набатников Ю.Ф. Обеспечение точности в соединениях деталей горных машин обобщенным методом групповой взаимозаменяемости // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – №11. – С. 5-11.
10. Набатников Ю.Ф., Сизова Е.И. Моделирование процесса сборки соединений машин на ЭВМ // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – №3. – С. 17-19.
11. Набатников Ю.Ф., Белянкина О.В. Определение параметров контактного взаимодействия рабочих поверхностей гидростойки механизированной крепи // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – №10. – С. 43-46.
12. Набатников Ю.Ф., Зозулева Л.А. Оценка уровня качества гидростойки // Горные машины и автоматика. – 2004. – №6. – С. 13-15.
13. Набатников Ю.Ф., Сизова Е.И. Обеспечение качества соединений «твердосплавная вставка – отверстие в корпусе шарошки» буровых долот // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – №3. – С. – 20-23.
14. Набатникова Т.Ю., Набатников Ю.Ф. Влияние деформации цилиндра от давления рабочей жидкости на положение плунжера в заделке гидростойки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – №2. – С. 225-230.
15. Набатникова Т.Ю., Набатников Ю.Ф. Моделирование схем перекоса плунжера в заделке гидростойки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – №12. – С. 182-183.
16. Набатникова Т.Ю., Набатников Ю.Ф. Обоснование вида посадок соединений деталей в заделках гидростоек // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – №12. – С. 178-181.
17. Набатников Ю.Ф., Набатникова Т.Ю. Моделирование предельного износа в соединениях гидростойки // Отд. статьи «Горного информационно-аналитического бюллетеня». – 2003. – №8. – С. 3-9.

18. Набатников Ю.Ф., Набатникова Т.Ю. Влияние точности изготовления деталей соединений гидростойки на величину контактных деформаций// Отд. статьи «Горного информационно-аналитического бюллетеня». – 2003. – №8. – С. 10-14.
- другие публикации по теме диссертации:*
19. Набатников Ю.Ф. Моделирование селективной сборки на ЭВМ и определение объема незавершенного производства // Труды VI международной конференции «Техника и технология сборки машин». Польша, Жешовская политехника, 28-30 мая 2008 г. – С.37-40.
20. Набатников Ю.Ф. Обеспечение заданных параметров соединений деталей машин. Польша, Жешовская политехника, 28-30 мая 2008 г., – С.147-149.
21. Набатников Ю.Ф., Белянкина О.В. Повышение ресурса гидростоек путем установления взаимосвязи их конструктивных параметров // Производство. Технология. Экология. Науч. труды // Сб. моногр. №11 в 2-х тт. Т. 2 / Под ред. член-корр. РАН Ю.М. Соломенцева и проф. Л.Э. Шварбурга. – М.: Янус-К, 2008. – С. 135-137.
22. Набатников Ю.Ф., Белянкина О.В. Моделирование напряженного состояния гидростойки механизированной крепи // Производство. Технология. Экология. Научные труды // Сборник монографий №11 в 2-х тт. Том 2: Под ред. член-корр. РАН Ю.М. Соломенцева и проф. Л.Э. Шварбурга. – М.: Янус-К, 2008. – С. 142-146.
23. Набатников Ю.Ф., Сизова Е.И. Расчет объема незавершенного производства при селективной сборке // Труды международной научной конференции «Наука и молодежь в начале нового столетия». Филиал НБГТУ им. Шухова, – Губкин, 2008. С. 161-163.
24. Набатников Ю.Ф., Сизова Е.И. Повышение качества соединений деталей машин // Труды международной научной конференции «Наука и молодежь в начале нового столетия» – Филиал НБГТУ им. Шухова, – Губкин, 2008. – С. 168-170.

- 25.Набатников Ю.Ф., Сизова Е.И. Определение объема незавершенного производства при селективной сборке // Материалы XI научной конференции МГТУ «Станкин» и «Учебно-научного центра математического моделирования МГТУ «Станкин» – ИММ РАН» по математическому моделированию и информатике. – М., 2008. – С. 239-243.
- 26.Набатников Ю.Ф., Сизова Е.И. Управление качеством соединений деталей при сборке//Производство. Технология. Экология. Научные труды//Сборник монографий. №11 в 2-х тт. Том 2/ Под ред. член-корр. РАН Ю.М. Соломенцева и проф. Л.Э. Шварбурга. – М., –Янус-К. – 2008. С. 147-149.
- 27.Островский М.С., Набатников Ю.Ф., Белянкина О.В. Обоснование конструктивных параметров гидростойки механизированной крепи с учетом контактных взаимодействий поверхностей // Трибология – машиностроению // Сборник докладов научно-технической конференции, посвященной 70-летию Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М.: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 2008. С. 44-49.
- 28.Набатников Ю.Ф. Повышение ресурса деталей машин // Сборник научных трудов. Семинар «Современные технологии в горном машиностроении». Неделя горняка 2011. – М.: МГТУ, 2011. – С.110-117.
- 29.Набатников Ю.Ф. Взаимосвязь ресурса и уровня качества соединений деталей машин и метод их обеспечения // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 11 –го Международного научно-технического семинара, (21-25 февраля 2011 г., Свалява). – Киев: АТМ Украины, 2011. – С.190-192.
- 30.Набатников Ю.Ф. Оптимизация параметров сборки соединений деталей машин. //Материалы 13 научной конференции МГТУ «Станкин» и «Учебно-научного центра математического моделирования МГТУ

«Станкин» - ИММ РАН» по математическому моделированию и информатике. – М., МГТУ «Станкин», 2010.– С.247-251.

Подписано в печать 26.09.2012 г.

Формат 60х90/16

Объем 2 печ. л.

Тираж 120 экз.

Заказ № 1401

Отдел печати МГГУ, Москва, Ленинский проспект, 6