

На правах рукописи

АРТАМОНОВА Дина Афанасьевна

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СОПРЯЖЕНИЙ  
ПЕРЕНОСНЫХ ПЕРФОРАТОРОВ

Специальность: 05.15.16 – Горные машины

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Кривой Рог – 1996



00360463 (M)

022  
Работа выполнена на кафедре  
ния" Криворожского технического

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор Солод Г.И.  
кандидат технических наук, доцент Марутов В.А.

Официальные оппоненты:

- 1) доктор технических наук, проф. Учитель А.Л.
- 2) кандидат технических наук, доц. Кучма В.В.


Ведущее предприятие - Криворожский завод горного маши-  
ностроения.

Защита диссертации состоится "27" июня 1996 г. в 13<sup>00</sup> часов  
на заседании специализированного ученого Совета К 16.01.01  
при Криворожском техническом университете по адресу:  
324030, г. Кривой Рог, ул. ХХП партсъезда, II.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университе-  
та.

Автореферат разослан "27" мая 1996 г.

Ученый секретарь  
специализированного  
Совета  
канд. техн. наук, доц.

  
Ю.Г. Горбачёв

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Развитие горнорудной, угольной, строительной и ряда других отраслей промышленности тесно связано с использованием пневматических перфораторов для бурения шпуров и скважин при добыче руд цветных и черных металлов, каменного угля, строительных материалов и горнохимического сырья.

Наряду с простотой конструкции и управления, достаточно высокой продуктивностью и мобильностью перфораторов существенным их недостатком является низкий уровень качества. Отечественные перфораторы значительно уступают зарубежным образцам по основным эксплуатационным показателям, таким, как скорость бурения, надежность, долговечность и др.

Анализ путей и методов повышения уровня качества показывает, что основной резерв заключается в повышении точности изготовления и сборки пневматических перфораторов. Разработке методов расчета перфораторов на точность были посвящены работы ряда исследователей. Однако, определение влияния точности сопряжений на эксплуатационные характеристики перфораторов, определялись в ходе однофакторного эксперимента без учета влияния других сопряжений на положение исполнительных органов. Разработанная методика расчета не учитывает всех факторов, возникающих при различной точности деталей и не носит законченного характера.

Цель работы заключалась в определении точности сопряжений, обеспечивающих наилучшие показатели качества перфораторов.

Идея работы состояла в определении точности замыкающих звеньев и расчете точности сопряжений при помощи размерных цепей с учетом деформаций деталей под действием прямого плоского, косоугольного и внецентренного ударов.

#### Научная новизна.

1. Предложена и апробирована методика изображения и расчета линейных размерных цепей перфоратора, которая отличается тем, что учтены не только допуски номинальных размеров, а и отклонение от расположения поверхностей и изменение длины деталей под действием ударных импульсов.

2. Разработана методика изображения и расчета угловых размерных цепей, которая отличается тем, что наряду с зазорами учитываются отклонения от расположения поверхностей и деформация деталей под действием плоского прямого, косоугольного и внецен-

тренного ударов, а также определено влияние суммарной точности сопряжений на качество перфораторов.

3. Осуществлена оценка уровня качества перфораторов по функциональному критерию безэкспертным методом по основным изменяющимся показателям, рекомендованная для оценки модернизируемых машин.

Практическая ценность работы заключается в: анализе точности геометрических параметров деталей, поступивших на сборку и размеров, проставленных на чертежах; определении допусков исходных звеньев в угловых и линейных размерных цепях; определении допусков размеров деталей, обеспечивающих наивысшее качество перфоратора; определении величины линейной деформации деталей, определении напряжений в деталях при наличии перекосов; анализе уровня качества 38 отечественных и иностранных перфораторов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в работе, подтверждается применением проверенных практикой методов математической статистики и теории вероятностей, математического анализа и прикладной математики с использованием общепринятых допущений, многочисленными результатами лабораторных исследований с использованием современных методик и аппаратуры, использованием апробированных методов безэкспертной оценки качества горных машин, расчётами на ЭВМ.

#### Апробация работы.

Инженерные методики расчета деталей перфораторов на точность прошли апробацию и переданы заводу горного машиностроения (г.Кривой Рог) для использования при совершенствовании бурильных машин.

Основные положения и отдельные разделы диссертации докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях Криворожского технического университета (1984-1988 гг.); на объединенном семинаре Московского горного института (1989 г.); на заседании технического совета завода горного машиностроения (1990 г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано четыре работы, из которых одно авторское свидетельство на изобретение и три научные статьи.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений, изложенных на 166 страницах машинописного текста, включая 15 рисунков и 45 таблиц. В списке литературы приведено 91 наименование.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Разработкой методов расчёта перфораторов на точность занимались исследователи Бажал А.И., Бегагоен И.А., Бойко А.И., Дядюра А.Г., Хуторной П.С., Федулов А.И., Фишер Г., Хольдо Д. и др. Принятая в настоящее время методика расчета рассматривает сопрягаемые детали и величины зазоров в процессе непрерывного нагружения сопрягаемых деталей упругими ударными волнами, полученными в результате действия прямого плоского удара.

Минимальные зазоры рассчитываются с учетом диаметральных деформаций деталей и шероховатости сопрягаемых поверхностей. Значения максимальных зазоров определяются, как разность между предельно допустимым зазором и технологическим допуском, обеспечивающим некоторый запас точности на износ в отдельно взятом сопряжении, без учета суммарного влияния на положение исполнительных органов зазоров в других сопряжениях.

Допуски на отклонения от расположения поверхностей определяются как часть допуска на размер.

В реальной машине погрешности размеров, отклонения от расположения поверхностей и деформации деталей, присутствуют одновременно и могут быть учтены в точностных расчетах, производимых при помощи размерных цепей.

Теория размерных цепей сравнительно молодая наука, имеющая несколько школ, руководимых известными учеными Балакшиным В.С., Бородачевым Н.А., Дунаевым П.Ф. В горном машиностроении расчет размерных цепей не нашел должного распространения, ввиду невысоких требований к точности, отсутствия методики расчета, относительной сложности и индивидуальности подхода при выявлении размерных цепей.

В результате анализа размеров деталей, поступивших на сборку, установлено, что действительные размеры деталей значительно превышают допуски, заданные чертежом: наружные поверхности вращения до 5.1 раза; внутренние - 2.8 р.; линейные - до 11.25; а погрешности взаимного расположения поверхностей до 3.5 раз. Это приводит к тому, что до 60% сопряжений перфораторов имеют завышенные зазоры, которые снижают долговечность до 50% и понижают показатели качества перфораторов.

Замеры деталей перфораторов HR (французской фирмы "Медон") и ВВС-24W (шведской фирмы "Атлас Копко") показали, что сопряжения имеют увеличенные минимальные зазоры, превышающие 20-25 мкм, точность диаметральных размеров соответствует 5-6 квалитетам, отклонения геометрической формы не превышают 8 мкм.

Учет основных факторов, влияющих на положение исполнительных поверхностей, таких, как отклонение размеров, формы и

расположения поверхностей, деформации деталей под действием ударного импульса, полученного в результате косога и внецентренного ударов, позволит формировать качество продукции на стадии проектирования и управлять им.

Для реализации цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. Провести углубленный анализ расчета на точность диаметральных и линейных размеров, а также отклонений от расположения поверхностей в переносных перфораторах.

2. Выявить и описать размерные связи в линейных и угловых размерных цепях.

3. Выполнить аналитические и экспериментальные исследования по определению допусков на исходные звенья угловых и линейных размерных цепей.

4. Разработать уточненную методику расчета допусков размеров, с учетом суммарного влияния допусков номинальных размеров, отклонений от расположения поверхностей и деформаций деталей на положение исполнительных органов с учетом действия прямого плоского, косога и внецентренного ударов.

5. Предложить посадки, обеспечивающие наивысшее качество перфоратора и провести сравнительный анализ предложенных посадок, посадок представленных на чертеже и получаемых при сборке перфоратора.

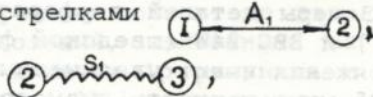
6. Предложить инженерную методику для определения уровня качества модернизируемых перфораторов по функциональному критерию и определить тенденции развития этой области техники.

Для решения поставленных задач принят экспериментально-аналитический метод с применением методов математической статистики и теории вероятностей, математического анализа и прикладной математики. Расчеты производились на ЭВМ.

На основе теории графов предложен метод изображения размерных цепей, включающий как векторные, так и скалярные величины. На схеме машины каждой сопрягаемой поверхности присвоен порядковый номер, который при изображении размерных цепей помещается в кружок ②, ③.

Скалярные величины - линейные или диаметральные размеры, изображаются прямой линией со стрелками

зазор - ломаной линией без стрелок



замыкающее звено - плавной линией  $(3) \xrightarrow{A_{\Sigma}} (4)$ .

Векторные величины, представляющие собой погрешность относительного положения поверхностей или осей (отклонение от параллельности, перпендикулярности, торцевое биение, эксцентриситет и т.д.), изображаются прямой линией со стрелкой, направленной от той поверхности, от которой задано отклонение  $(4) \xrightarrow{\beta_4} (5)$ .

Схемы размерных цепей включающие различные виды погрешностей изображены на рис.1.

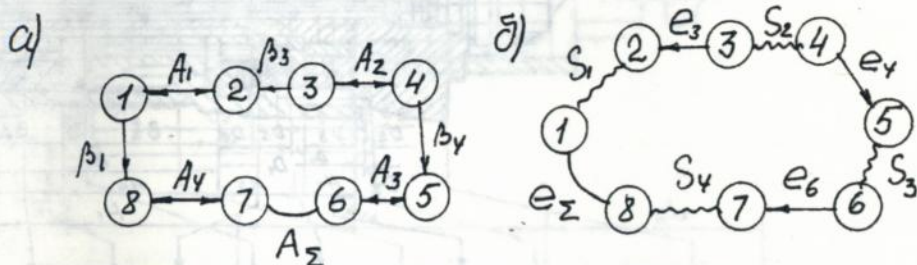


Рис.1. Схемы размерных цепей: а) линейной, б) угловой.

Выведены зависимости для расчёта линейных и угловых размерных цепей, включающие различные виды погрешностей, влияющих на положение замыкающих звеньев.

На величину замыкающих звеньев в линейных размерных цепях будут оказывать влияние не только допуски составляющих звеньев, но и величины торцевых биений деталей (см. рис.2а). Получено выражение, определяющее допуск замыкающего звена линейной размерной цепи при расчете по вероятностному методу

$$T_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{\sum_{i=1}^n K_{i,T_i}^2 T_i^2 + \sum_{i=1}^n K_{i,\Delta l_i}^2 \Delta l_i^2 + \sum K_j^2 \beta_j^2}, \text{ мм} \quad (1)$$

где  $T_i$  - допуски составляющих звеньев;  $\Delta l$  - линейная деформация деталей, мм;  $\beta_j$  - торцевые биения составляющих звеньев, мм;  $K_{i,j}$  - коэффициент относительного рассеивания.

Выведена зависимость и произведены расчеты линейной деформации деталей, которые достигают величин, соизмеримых с допусками на размер. Так, например, линейная деформация поршня составляет 0.067 мм.

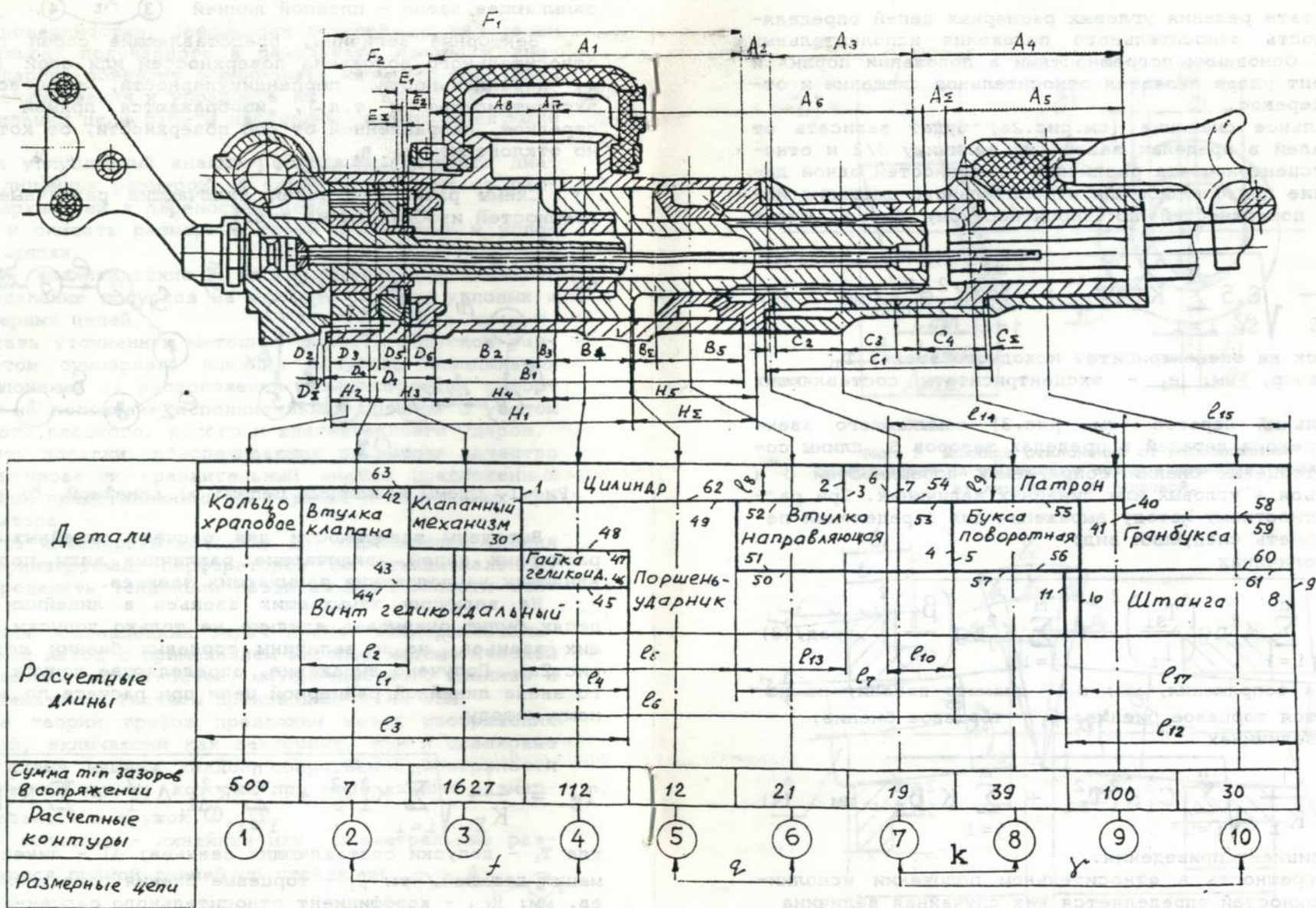


Рис. 4 Расчётная схема линейных и угловых размерных цепей переносного перфоратора ПП50В1.

В результате решения угловых размерных цепей определяется погрешность относительного положения исполнительных поверхностей. Основными погрешностями в положении поршня и штайги в момент удара являются относительное смещение и относительный перекося.

Относительное смещение (см. рис. 2а) будет зависеть от смещения деталей в пределах зазора на величину  $S/2$  и относительного эксцентриситета различных поверхностей одной детали. Выражение для определения относительного смещения исполнительных поверхностей по вероятностному методу будет иметь вид

$$e_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{0.5 \sum_{i=1}^n K_i^2 T_{Si}^2 + \sum_{j=1}^m K_j^2 e_j^2}, \text{ мм} \quad (2)$$

где  $e_{\Sigma}$  - допуск на эксцентриситет исходного звена;  $T_{Si}$  - допуск на зазор, мм;  $e_j$  - эксцентриситеты составляющих звеньев, мм.

Относительный перекося (см. рис. 3) замыкающего звена зависит от перекося деталей в пределах зазоров  $S$ , длины сопряжений  $l$ , торцевых биений сопрягаемых поверхностей  $\beta$  и может измеряться в угловых или линейных величинах. При расчете по вероятностному методу выражения для определения перекося будут иметь следующий вид:

- в угловых величинах

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{\sum_{i=1}^n K_i^2 t g \left( \frac{T_{Si}}{l_i} \right)^2 + \sum_{j=1}^m K_j^2 t g \left( \frac{\beta_j}{d_j} \right)^2}, \text{ град.} \quad (3)$$

где  $l_i$  - длина сопряжения, мм;  $d_j$  - диаметр детали, на котором измеряется торцевое биение;  $\beta_j$  - торцевое биение;

- в линейных величинах

$$p_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{\sum_{i=1}^n C_i^2 K_i^2 T_{Si}^2 + \sum_{j=1}^m K_j^2 \beta_j^2}, \text{ мм} \quad (4)$$

где  $C_i$  - коэффициент приведения.

Общая погрешность в относительном положении исполнительных поверхностей определяется как случайная величина

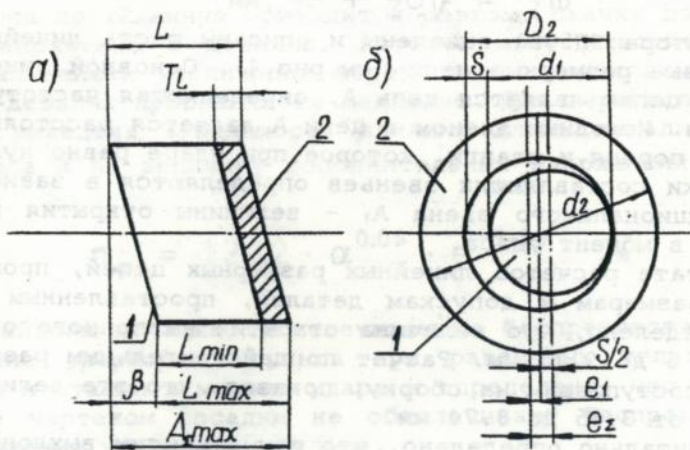


Рис. 2 Влияние отклонений от расположения поверхностей на замыкающее звено в размерных цепях:  
а) линейной; б) угловой.

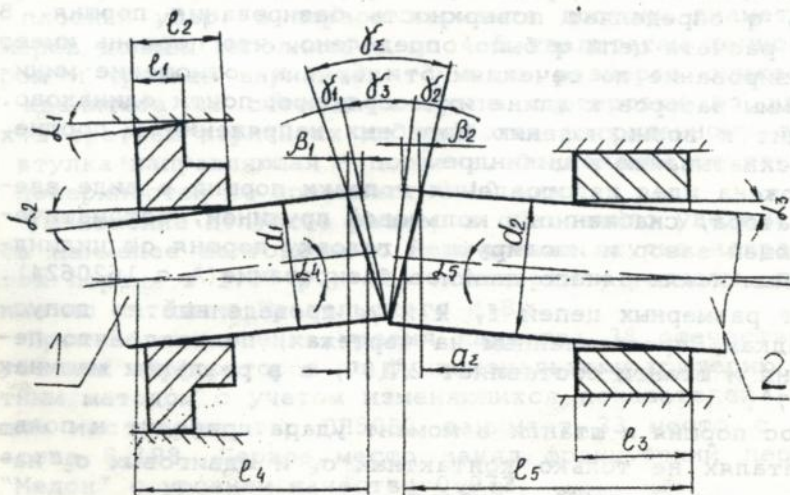


Рис. 3 Схема относительного перекоса поршня и штанги в момент удара.

$$\omega_{\Sigma} = \sqrt{p_{\Sigma}^2 + e_{\Sigma}^2}, \text{ мм} \quad (5)$$

В перфораторе ПП50В1 выявлены и описаны шесть линейных и четыре угловые размерные цепи (см. рис. 4). Основной линейной размерной цепью является цепь А, определяющая частоту и энергию ударов. Исходным звеном в цепи А является расстояние между торцами поршня и штанги, которое при ударе равно нулю. Поэтому допуски составляющих звеньев определяются в зависимости от функционального звена А<sub>1</sub> - величины открытия выхлопного окна в момент удара.

В результате расчетов линейных размерных цепей, произведенным по размерам и допускам деталей, проставленным на чертежах, определено, что величина открытия выхлопного окна колеблется от 6 до 9.13 мм. Расчет по действительным размерам деталей, поступившим на сборку, показал, что эта величина изменяется от 3.35 до 8.74 мм.

Экспериментально определено, что при открытии выхлопного окна с 3 до 6 мм перфоратор работает с наивысшими эксплуатационными показателями.

Угловая размерная цепь  $\gamma$  определяет величину перекоса и относительный эксцентриситет поршня и штанги в момент удара (см. рис. 4). Цепи f и k определяют зазоры в шлицевых сопряжениях. Цепь q определяет поверхность базирования поршня. В результате расчета цепи q было определено, что поршень имеет двойное базирование по сечениям 5 и 6, т.к. отношение минимальной суммы зазоров к длине их сопряжений почти одинаково. Это приводит к возникновению изгибных напряжений в поршне, задирам и схватыванию в цилиндре.

Предложена идея изготовления головки поршня в виде звена компенсатора, снабженного кольцевой пружиной, автоматически выбирающей зазор и изолирующей головку поршня от цилиндра, тем самым исключая его двойное базирование (А.с.1620624).

Расчет размерных цепей f, k и  $\gamma$ , проведенный по допускам и посадкам, проставленным на чертежах, показал, что перекоса поршня и штанги составляет  $2^{\circ}10'$ , а в реальных машинах достигает  $7^{\circ}$ .

Перекоса поршня и штанги в момент удара приводит к появлению в деталях не только контактных  $\sigma_k$  и сдвиговых  $\sigma_c$  напряжений, но и напряжений изгиба  $\sigma_u$

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_k + \sigma_c + \sigma_u \quad (6)$$

где  $\sigma_{\Sigma}$  - суммарное напряжение в детали.

Известно, что при перекосах до 10 минут удар будет плоским за счет упругой деформации торцов. Увеличение угла перекоса до 12 минут приводит к резкому скачку дополнительных напряжений в деталях, которые могут достигать 161%. При дальнейшем увеличении перекоса дополнительные напряжения в деталях прибавляются медленно. Для перекосов более 12 минут выведена зависимость влияния длины детали  $L$  и угла перекоса  $\alpha$  на величину дополнительных напряжений в деталях  $\sigma_g$

$$\sigma_g = 123.2 \cdot \alpha^{0.05} \cdot e^{-3 \cdot 10^{-4} L}, \% \quad (7)$$

Найдены посадки, обеспечивающие беспрепятственное прохождение ударного импульса при различных углах перекоса поршня и штанги в момент удара и определено, что предусмотренные чертежом посадки не обеспечивают беспрепятственное прохождение ударного импульса.

Определено, что для обеспечения плоского удара в перфораторе ПП50В1 погрешность  $\omega_g$  положения поршня и штанги в момент удара не должна превышать 0.072 мм.

По разработанной методике рассчитаны допуски на линейные размеры и предложены три варианта посадок, обеспечивающих плоский удар. В первом варианте допуски диаметральных размеров должны выполняться по 4-5 квалитетам точности. Во втором и третьем вариантах точность размеров снижается до 6-7 квалитета за счет двух групп сортировки во втором и трех в третьем вариантах по наиболее нагруженному сопряжению втулка направляющая - поршень. Отклонения от расположения поверхностей не превышают 6-10 мкм.

Уменьшение допусков размеров обеспечило увеличение ресурса наименее долговечного сопряжения втулка направляющая - шток поршня в 1.35 р., что подтвердили расчеты, произведенные по методике Крагельского И.В.

Произведена оценка уровня качества 38 отечественных и зарубежных перфораторов по функциональному критерию безэкспертным методом с учетом изменяющихся показателей. Интересующий нас перфоратор ПП50В1 занимает 33 место с уровнем качества 0.198. Первое место занял французский перфоратор HR "Медон" с уровнем качества 0.973.

Расчёты показали, что использование результатов выполненных исследований, включающих изменённую конструкцию поршня-ударника, смещённую величину открытия выхлопного окна и ужесточенные допуски на размеры позволяет достичь новому перфоратору комплексный показатель качества равный 0.302, против 0.299 прогнозируемый на 2005 год. Это

позволило ему переместиться на 18 место вместе с американским перфоратором S-83-F.

Разработанная методика расчета точности деталей и сопряжений перфораторов может быть использована для бурильных машин любых моделей.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Произведен анализ точности деталей перфоратора ПП50В1, поступивших на сборку и установлено, что действительные размеры деталей значительно превышают допуски, заданные чертежом: наружные поверхности вращения до 5.1 раза; внутренние - до 2.8 раза, линейные - до 11.25 р., а погрешности взаимного расположения поверхностей до 3.5 раза.

2. Предложен метод графического изображения размерных цепей, основанный на теории графов, предусматривающих нумерацию сопрягаемых поверхностей и включающий в себя изображение зазоров, линейных размеров и отклонения от расположения поверхностей. Разработана инженерная методика расчета линейных и угловых размерных цепей, отличающаяся тем, что одновременно учитываются скалярные и векторные величины, а также деформация деталей, влияющая на положение исполнительных органов.

3. По предложенной методике выявлены и рассчитаны линейные и угловые размерные цепи перфоратора ПП50В1 по допускам, проставленным на чертеже, и по размерам деталей, поступившим на сборку. Установлено, что величина открытия выхлопного окна, заложенная в конструкцию, колеблется от 6 до 9.13 мм, а в действительных перфораторах от 3.35 до 8.74 мм. Перекок поршня и штанги в момент удара, заложенный в конструкцию, составляет  $2^{\circ}10'$ , а в действительности достигает  $7^{\circ}$ .

4. Произведена предварительная оценка уровня качества 38 перфораторов по комплексному показателю безэкспертным методом только по изменяющимся при модернизации показателям. Установлено, что лучшим является перфоратор НР "Медон" ( $K=0.973$ ), а интересующий нас перфоратор ПП50В1 занимает 33 место с уровнем качества  $K=0.198$ .

5. Предложено изготавливать головку поршня в виде звена компенсатора, исключающего его двойное базирование и подерживающего минимальный зазор в поршневой паре в течение гарантированного срока службы перфоратора.

6. Исходя из наивысших показателей качества перфоратора установлены допуски на исходные звенья в угловых и линейных размерных цепях, которые обеспечиваются при открытии выхлопно-

го окна с 3 до 6 мм и плоском ударе, получаемом при перекосах поршня и штанги не превышающим 10 минут.

7. Для углов перекоса поршня и штанги более 12 минут выведена зависимость влияния угла перекоса и длины детали на рост дополнительных напряжений и показано, что их величина может достигать 161%. Найдены посадки, обеспечивающие беспрепятственное прохождение ударного импульса при наличии перекосов.

8. Предложены допуски на линейные размеры, отклонения от расположения поверхностей и три варианта посадок на диаметральные размеры, обеспечивающие плоский удар. При этом требования к точности совпали с действительными размерами перфоратора НР "Медон": минимальные зазоры 20-25 мкм обеспечивает посадка H/f; точность сопряжений соответствует 5-6 квалитетам; отклонения формы и расположения поверхностей не превышают 6-10 мкм.

9. Расчетным путем определена величина ресурса наиболее нагруженного и наименее долговечного сопряжения втулка направляющая - шток поршня. Установлено, что ресурс сопряжения, изготовленного по предлагаемым допускам, увеличится в 1.34 р., что позволит модернизированному перфоратору повысить уровень качества до 0.302 и занять восемнадцатое место. Ресурс сопряжения, собранного из действительных деталей, меньше расчетного на 20% из-за увеличенного первоначального зазора.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. А.с.1620624 СССР. Поршень для машин ударного действия. Авт.изобретение. Д.А. Артамонова, И.О. Фербей. Заявл. 27.06.88г. № 4449850: Опубл: в БИ 1990, № 6.
2. Определение допусков линейных размеров переносных перфораторов / Артамонова Д.А., Артамонов Г.В./, 1988, 13 с. Деп. в УкрНИИТИ 06.10.88 №2565 -Ук 88.
3. Расчет размерных цепей бурильных машин / Артамонова Д.А., Артамонов Г.В./, 1983, -8с. Рукопись деп. в УкрНИИТИ 22.06.83г. №564 Ук-Д83.
4. Размерный анализ подвижных соединений бурильных машин. Артамонова Д.А., Артамонов Г.В., 1983 - 7с. /Рукопись деп. В УкрНИИТИ 22.06.83 г. №564 Ук-Д83.

The thesis "Investigation of the connection accuracy in portable drills" by Artamonova D.A. is presented for a Candi date's Degree (speciality 05.15.16- mining machines).

Krivoy Rog. 1995.

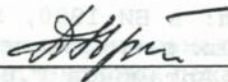
The methods of estimation of the portable drills are defended. This is done by means of calculating of the drills functioning alcuracy taking into consideration the straight - line and oblique impacts; this accuracy is based on the calculation of the linear and angular dimensioned circuits, which include dimension tolerances, clearances, departures from the surfaces and also parts deformation. The tolerances and fits securing the highest qualities of the ПП 50 В1 portable drill are recommended.

Артамонова Д.А. Исследование точности сопряжений переносных перфораторов. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.16.- Горные машины. Криворожский технический университет. Кривой Рог. 1996 г.

Защищается методика расчета перфораторов на точность с учетом действия прямого и косоого ударов, основанная на расчете линейных и угловых размерных цепей, включающих допуски размеров, зазоры, отклонения от расположения поверхностей и деформацию деталей. Предлагаются допуски и посадки обеспечивающие наивысшее качество переносного перфоратора ПП50В1.

Ключевые слова: точность, допуски и посадки, угловые и линейные размерные цепи, перекося, эксцентриситет, плоский удар, деформация, качество.

Соискатель



/ Артамонова Д.А./

ЛНБ ім. В. Стефаниши  
АН України