

6  
А-11

Министерство сельского хозяйства СССР

ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ  
И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ТИИМСХ)

На правах рукописи

Э. Л. ХАЙКИН  
старший преподаватель ТИИМСХ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ  
И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗОЛОТНИКОВОЙ ПАРЫ  
ГИДРОПРИВОДА НЕКОТОРЫХ МАШИН,  
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ХЛОПКОВОДСТВЕ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ТАШКЕНТ—1966.

Министерство сельского хозяйства СССР

ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ  
И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ТИИИМСХ)

На правах рукописи

Э. Л. ХАЙКИН  
старший преподаватель ТИИИМСХ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ  
И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗОЛОТНИКОВОЙ ПАРЫ  
ГИДРОПРИВОДА НЕКОТОРЫХ МАШИН,  
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ХЛОПКОВОДСТВЕ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т —  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

*Научный руководитель — кандидат технических наук,  
доцент Е. К. БАТУРИН*

ТАШКЕНТ—1966.

## ВВЕДЕНИЕ

Программой Коммунистической партии Советского Союза, принятой на XXII съезде, намечено повышение производительности труда в сельском хозяйстве за первое десятилетие не менее чем в 2,5 раза, а за двадцать лет в 5—6 раз. Такой рост производительности труда в колхозах и совхозах будет идти за счет дальнейшего вооружения сельского хозяйства совершенной техникой, за счет более эффективного использования существующих машин и орудий.

Одним из способов повышения эффективности использования тракторов, дорожно-строительных и сельскохозяйственных машин является применение гидравлического привода управления рабочими органами и механизмами.

В настоящее время все выпускаемые отечественные тракторы оборудуются гидроприводами. Особенно много гидрофицированных машин и орудий работает в хлопководческих районах Средней Азии, Казахстана и Закавказья. Это объясняется большим объемом ирригационных работ, а также особенностями технологии возделывания хлопчатника. Использование тракторов и самоходных шасси, оборудованных гидроприводами, позволяет применять навесные орудия, что в значительной степени улучшает конструкцию машины, облегчает управление рабочими органами. Гидравлические приводы получили широкое распространение также в ряде других отраслей народного хозяйства.

Работа гидросистемы, в значительной мере, зависит от технического состояния распределителя. Интенсивное изнашивание деталей золотниковой пары, последнего приводит к увеличению зазора в сопряжении и, как следствие, к повышению утечек рабочей жидкости.

Такое явление обуславливает самопроизвольное опускание рабочего органа, навешенного на трактор, и приводит к снижению производительности машины.

В настоящее время в различных отраслях народного хозяйства большое количество гидросистем выходит из строя из-за чрезмерного износа золотниковой пары деталей распределителя.

Поэтому восстановление и повышение износостойкости рассматриваемой пары позволит продлить срок службы гидрофицированной машины и повысить надежность ее работы.

Ряд научно-исследовательских институтов: ГОСНИТИ, НАТИ, ВИМ, ВНИИМЭСХ и другие организации выполняют работы по повышению надежности и долговечности агрегатов гидросистем, что указывает на актуальность рассматриваемых вопросов.

Вместе с тем, анализ выполненных работ показал, что изнашивание и способы восстановления золотниковой пары гидравлического распределителя машин, работающих в хлопководческих районах, изучены еще недостаточно.

В связи с этим настоящая работа посвящена решению следующих задач:

1. Исследованию условий и режимов работы гидравлического распределителя машин, применяемых в хлопководстве.
2. Исследованию зависимости между величиной зазора в золотниковой паре и работоспособностью машин.
3. Выбору рационального способа восстановления и упрочнения деталей золотниковой пары.

Диссертация состоит из пяти глав и списка литературы, включающего 102 названия, имеет объем 136 стр. машинописи и 50 рисунков.

#### Исследование износа деталей золотниковой пары гидропривода

Машины, используемые для планировочных и других земляных работ в хлопководстве, эксплуатируются в условиях повышенной запыленности воздуха. Это объясняется климатическими и почвенными особенностями хлопководческих районов, а также тем, что в процессе работы они разрушают грунт своими рабочими органами и ходовой частью. От минералогического и дисперсного состава, созданного при этом пылевого облака, в значительной степени зависит величина и интенсивность износа трущихся поверхностей деталей.

Известно, что почвы хлопководческих районов, в основном, состоят из сероземных и лугово-болотных почв. В пыли сероземных почв содержится кварца 53,2%, окиси железа 4,5%, окиси алюминия 10,30%; в пыли лугово-болотных почв — соответственно 45,6%, 4,5%, 10%.

Однако, до настоящего времени недостаточно данных о величине запыленности воздуха и дисперсном составе пылевого облака при работе гидрофицированных землеройных машин в хлопководческих районах.

В связи с этим нами были проведены исследования запыленности воздуха в зоне расположения отдельных агрегатов гидросистемы бульдозеров и скреперов, работающих на полях совхоза им. С. М. Кирова Среднечирчикского района и колхоза имени М. И. Калинина Янгиюльского района Ташкентской области УзССР.

Величина запыленности определялась весовым методом, а дисперсный состав — методом индивидуального отбора.

Как показали исследования, наибольшая запыленность воздуха создается при работе бульдозера на сероземных почвах и достигает 3,11 г/м<sup>3</sup>.

При этом, частицы пыли с размером до 15 мк концентрировались на высоте 1520 ÷ 1800 мм от поверхности почвы в зоне расположения масляного бака и силового цилиндра скрепера, а на высоте 560 ÷ 1080 мм. (зона расположения насоса и силового цилиндра бульдозера) находилось наибольшее количество частиц с размером более 15 мк.

Проникновение абразивных частиц к трущимся поверхностям золотниковой пары возможно только вместе с маслом. В связи с этим нами были проведены исследования засоренности рабочей жидкости, которая составила 0,3%.

Анализ условий работы гидропривода позволил предположить, что основной причиной износа сопряженных деталей является абразивное изнашивание. Для получения полной характеристики процесса изнашивания были изучены формы и размеры изношенных деталей золотниковой пары.

Исследования проводились в Янгиюльской специализированной мастерской «Узсельхозтехника».

Всего было исследовано 32 комплекта золотниковых пар гидросистем, поступивших на ремонт.

В результате предварительного изучения характера распределения износа по поверхностям деталей золотниковой пары, была принята методика измерений, обеспечивающая требуемую точность результатов.

Замеры проводились в 16 сечениях вдоль образующей золотников и в 4-х плоскостях под углом  $45^\circ$  друг к другу и в 24 сечениях втулок по тем же плоскостям.

Втулки измерялись индикатором — нутромером с ценой деления 0,002 мм., а золотники — рычажным микрометром с ценой деления 0,002 мм.

Результаты измерений обрабатывались методом математической статистики.

Как известно, при проведении большого числа замеров важнейшими показателями являются средние величины, которые отражают основные параметры измеряемых деталей.

Используя способ наименьшего и наибольшего значения признака были построены одномерные ряды распределения, позволившие определить среднеарифметические значения ( $\bar{X}$ ) диаметров изношенных деталей.

Для получения достоверных результатов измерений были определены величины среднеквадратных отклонений ( $\sigma$ ), позволившие устранить промахи.

С целью оценки истинного значения измеряемых величин определялась вероятность возможных ошибок.

Вероятность того, что средняя ошибка не превзойдет по абсолютной величине предельное значение ошибки равна

$$P \{ |\bar{X} - \delta| < \varepsilon \} = F(t)$$

где:  $P$  — надежность оценки (0,990);

$\delta$  — истинное значение измеренной величины;

$\varepsilon$  — предельная ошибка;

$F(t)$  — интеграл вероятности;

$$F(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Для золотника предельная ошибка составила 0,044 мм. и для втулки — 0,059 мм.

Полученные результаты вполне удовлетворяют требованиям методики, т. к. величины возможных максимальных ошибок не превышают допуски на размеры деталей.

Достоверность полученных результатов определялась проверкой соответствия количества исследованных золотников пар необходимому числу объектов ( $n$ ).

Для золотника необходимое количество составило 31,8 и для втулки 31,1.

Как видно из полученных результатов количество исследованных золотниковых пар (32) вполне обеспечило достаточную надежность и точность проведенных исследований.

На фиг. 1, 2 приведены кривые распределения износа по поверхностям трения деталей золотниковой пары.

Неравномерный характер износа объясняется неравномерным действием абразивных частиц, проникнувших в щелевой зазор между золотником и втулками. Абразивные частицы, размер которых больше величины зазора, при перемещении золотника, защемляются между кромками золотника и отверстий во втулках и протаскиваются вдоль образующих этих деталей.

Частицы, с размером равным величине зазора, перекатываются или проскальзывают между трущимися поверхностями и изнашивают детали путем пластических деформаций и резания.

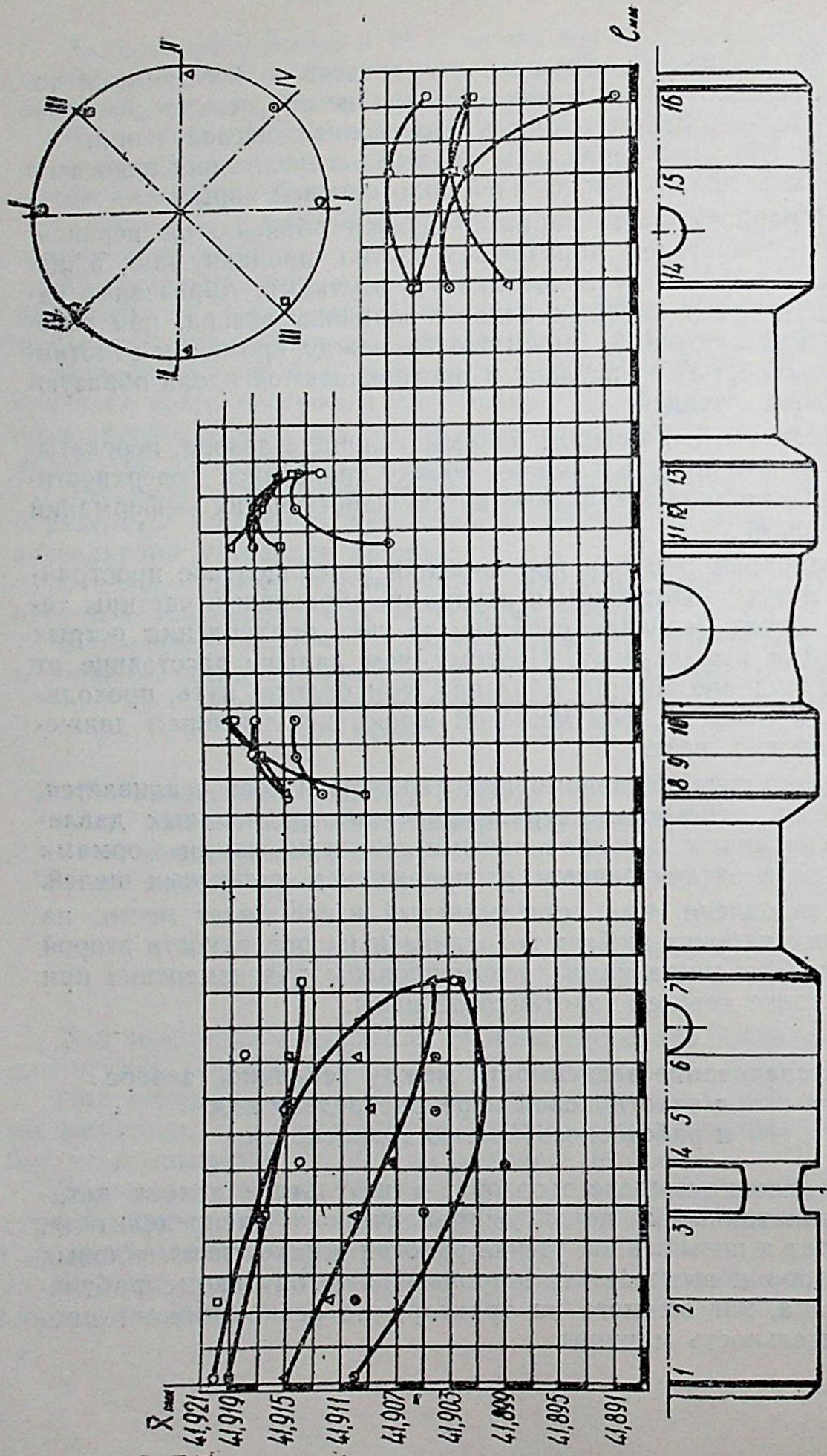
Одновременно при прохождении через щелевое пространство между золотником и втулками, абразивные частицы теряют свои режущие свойства за счет притупления острых граней и измельчения. Поэтому, чем дальше расстояние от места проникновения абразива, чем больше путь, проходимый абразивом, тем меньший износ, в дальнейшем движении, он вызывает.

Кроме того, неравномерный характер износа усиливается, вероятно, действием неуравновешенных радиальных давлений, связанных с неправильными геометрическими формами деталей и эксцентричным расположением кольцевых щелей.

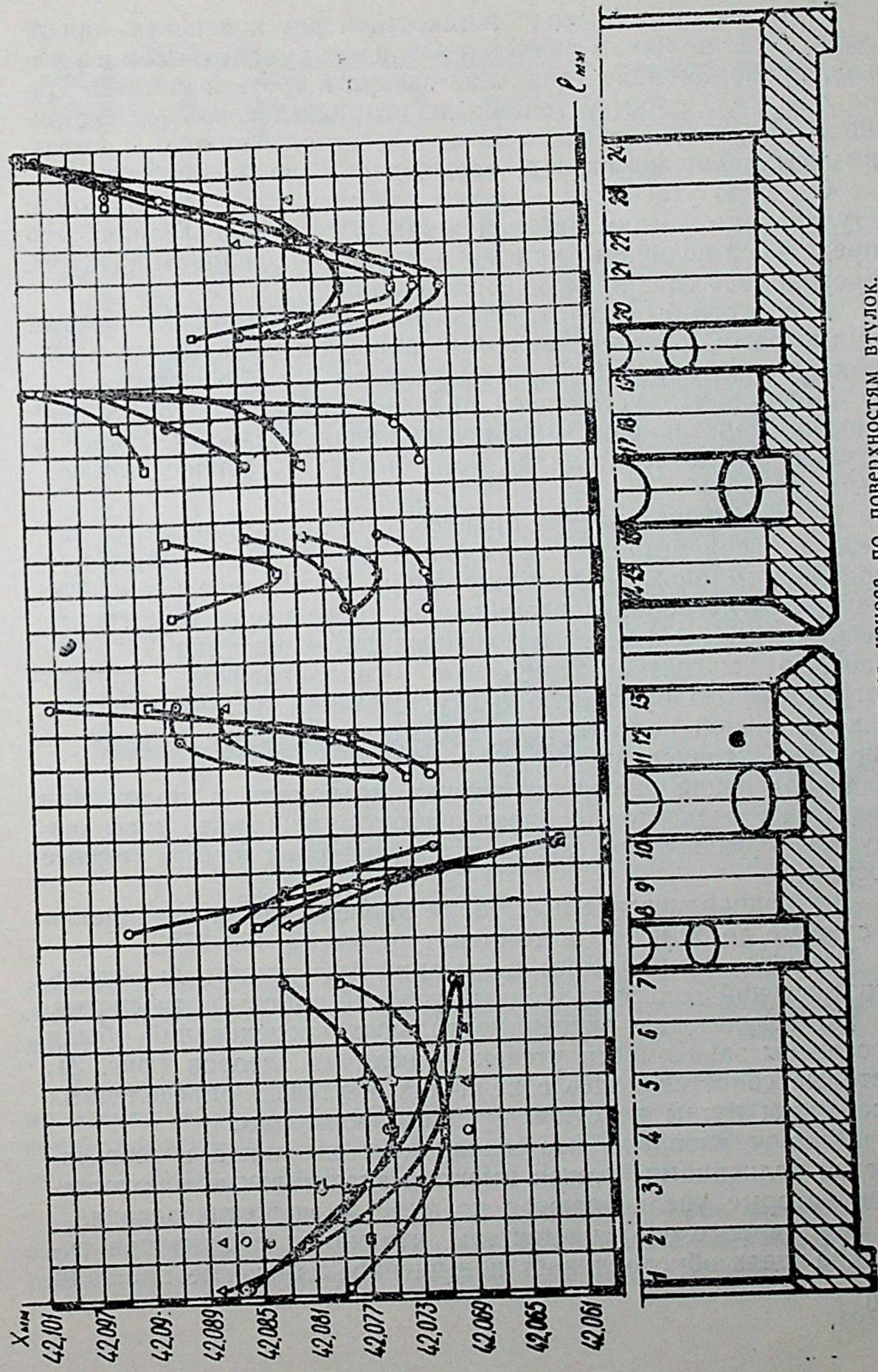
Установлено, что максимальный износ имеет место на крайних рабочих шейках золотника и на поверхности второй втулки. Эти места нами рекомендованы для измерения при дефектовке деталей золотниковой пары.

#### Исследование зависимости между величиной зазора в золотниковой паре распределителя и работоспособностью гидросистемы

Увеличение щелевого зазора, в результате износа деталей золотниковой пары гидравлического распределителя, приводит к повышенной утечке рабочей жидкости из силовых цилиндров и вызывает самопроизвольное опускание рабочего органа, навешенного на трактор, что резко снижает производительность машины.



Фиг. 1. Характер распределения износа по поверхности золотника.



Фиг. 2. Характер распределения износа по поверхностям втулок.

Известно, что расход жидкости через кольцевую капиллярную щель, каким является зазор между золотником и втулкой, пропорционален величине зазора в третьей степени. Однако, в ряде работ установлено, что фактический расход рабочей жидкости всегда меньше расчетного, причем с уменьшением величины зазора, расхождения увеличиваются.

С целью уточнения влияния зазора между золотником и втулкой на утечку рабочей жидкости и установления его предельной величины, на стенде, сконструированном автором, проводились специальные исследования.

Для этого было изготовлено 10 золотников с различными диаметрами, обеспечивающими получение зазоров от номинального размера 15 мк., до максимального 130 мк.

Этот размер установлен при микрометраже изношенных деталей золотниковых пар, поступивших на ремонт. Диаметр втулки распределителя во всех опытах оставался неизменным.

Исследование рабочих процессов, протекающих в распределителе при различных зазорах в золотниковой паре, проводилось методом тензометрирования. Измерение и одновременная регистрация давления в распределителе осуществлялось с помощью тензометрических датчиков типа ТДД-2 с записью магнитоэлектрическим осциллографом на фотографическую бумажную ленту. Датчики устанавливались в центральной полости распределителя, а также в полостях «подъем» и «опускание».

Определение величины утечки проводили в положении золотника «заперто», собирая рабочую жидкость, просочившуюся через щелевой зазор в золотниковой паре в мерные сосуды.

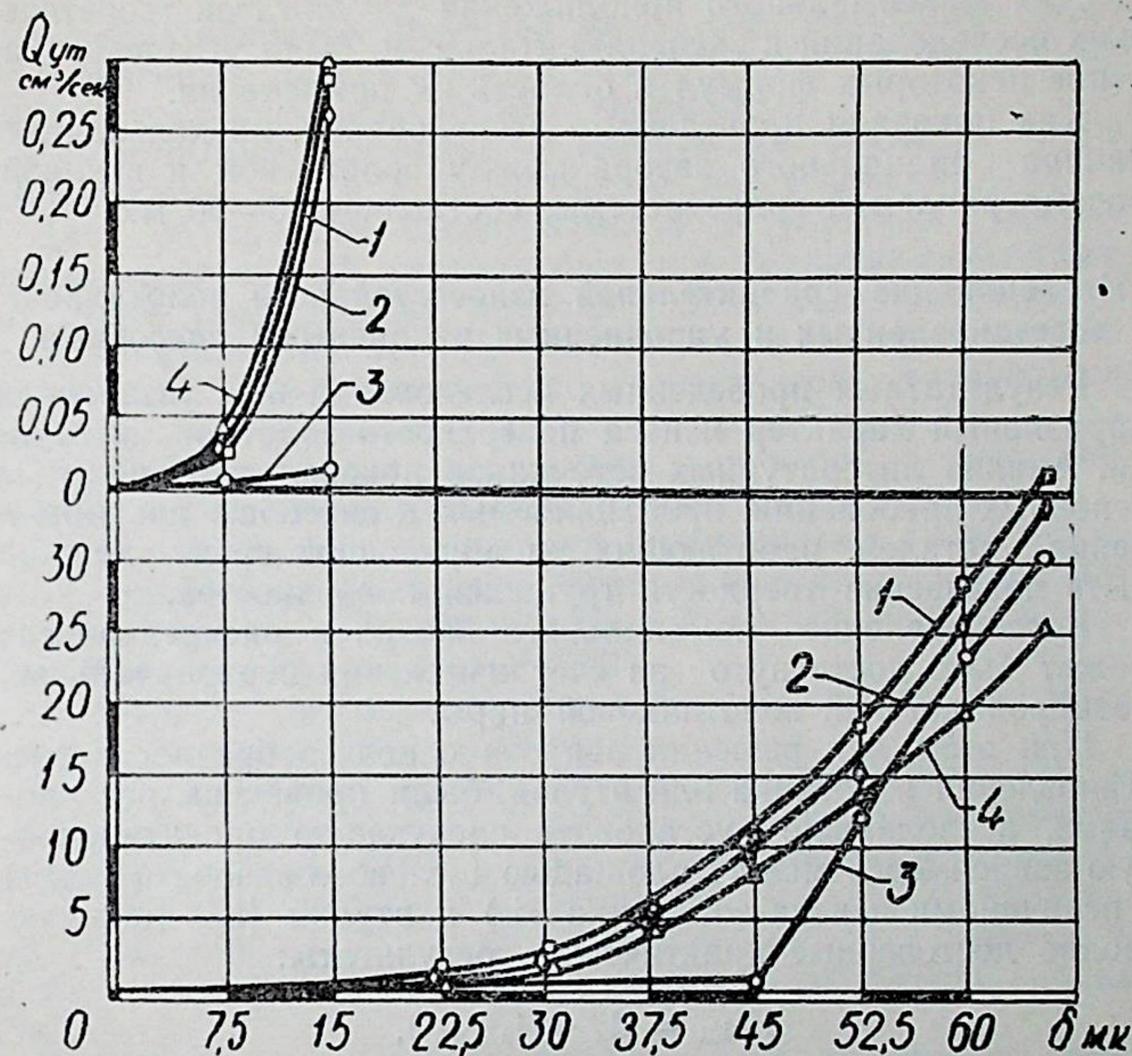
Все гидравлические испытания проводились при давлении в системе до 30 кг/см<sup>2</sup> и температуре масла 45÷55°С.

Температурный режим испытаний был принят на основании изучений эксплуатационных условий работы гидросистем.

По результатам экспериментальных исследований были построены зависимости утечек от величин зазоров (фиг. 3), которые сопоставлялись с величинами утечек, определенных расчетным путем по существующим формулам.

Было установлено, что между действительной и теоретической величинами утечек имеются значительные расхождения, которые увеличиваются по мере уменьшения зазора.

Это явление объясняется тем, что малая абсолютная величина щели обуславливает повышенное изменение площади



Фиг. 3. Зависимость утечки рабочей жидкости от величины зазора в золотниковой паре распределителя.  
 $Q_{ут}$  — утечки рабочей жидкости;  
 $\delta$  — радиальный зазор.

живого сечения из-за неизбежных производственных неточностей и искажения геометрии поверхностей золотников и втулок.

Кроме того, известно, что при малых величинах зазоров на утечки жидкости влияет процесс облитерации щели вследствие образования на ее стенках адсорбционных слоев молекул и аномальная вязкость рабочей жидкости.

Вместе с тем, при больших величинах зазоров имеет место люфтование золотника во втулках, вызывающее эксцентричное расположение золотника относительно втулок.

Для максимального приближения результатов теоретических исследований к экспериментальным, были уточнены значения некоторых формул и область их применения.

Как показали проведенные исследования, предельная величина радиального зазора между золотником и втулкой, рассматриваемой гидросистемы, составляет 45—50 мк.

#### Исследование сравнительной износостойкости золотников, восстановленных и упрочненных различными способами

Результатами проведенных исследований был установлен абразивный характер износа поверхности золотника и втулки. Анализ литературных источников показал, что одним из основных требований, предъявляемых к способам восстановления деталей, работающих в абразивной среде, должно быть повышение твердости трущихся поверхностей.

Восстановление номинального зазора в распределителе может быть достигнуто за счет изменения первоначальных размеров деталей золотниковой пары.

При этом для решения вопроса о целесообразности восстановления золотника или втулок, были проведены исследования, позволившие установить следующую ориентировочную зависимость между площадью щелевого зазора ( $F_{\text{общ}}$ ) и величинами износа золотника ( $i_z$ ) и втулки ( $i_v$ ) дающую вполне достоверные практические результаты:

$$F_{\text{общ}} = d_n \cdot \pi(i_z + i_v),$$

где  $d_n$  — номинальный диаметр детали.

Следовательно, можно считать, что увеличение площади щелевого зазора зависит только от суммарного износа обеих деталей.

Установлено, что как с технологической, так и с экономической точек зрения наиболее целесообразным является восстановление золотника.

В результате анализа исследований в области восстановления изношенных деталей и повышения их долговечности, проведенных различными авторами, нами были использованы следующие наиболее перспективные способы:

- а) химическое никелирование;
- б) электролитическое хромирование;
- в) напыление капроном;
- г) электролизное борирование;
- д) осталивание.

Эксплуатационные качества золотников, восстановленных и упрочненных различными способами, оценивались по результатам исследований их износостойкости.

Сравнительные износные испытания выполнялись как в лабораторных, так и в производственных условиях.

Для обеспечения сопоставимости результатов лабораторных исследований, автором был сконструирован специальный стенд, позволяющий проводить одновременное испытание 5 золотниковых пар. При этом, методикой предусматривалось, что 4 золотника были восстановлены различными способами, а 1 золотник — эталонный (серийный).

На стенде создавались режимы испытаний, в основном, идентичные реальным условиям работы гидросистемы.

Производственные испытания гидросистем, с исследуемыми золотниковыми парами, проводились на машинах, работающих на полях Янгиюльского и Среднечирчикского районов Ташкентской области УзССР.

В процессе исследований изучалось состояние трущихся поверхностей до и после испытаний.

Величина износа образцов и деталей золотниковой пары определялась по изменениям линейных размеров при помощи сконструированных автором специальных приборов (фиг. 4).

Прибор для измерений размеров золотников представляет собой опорную плиту 8 с призматическими стойками 1, в обоймах которых укреплены измерительные головки типа 2 МКМ.

Конструкция прибора обеспечивает одновременное измерение 6 размеров золотника в строго фиксированных точках, причем, при повторных измерениях места замеров сохраняются.

Износ втулки определяли методом искусственных баз, прибором, позволяющим контролировать процесс нарезания лунок и измерять их величину без поворота корпуса.

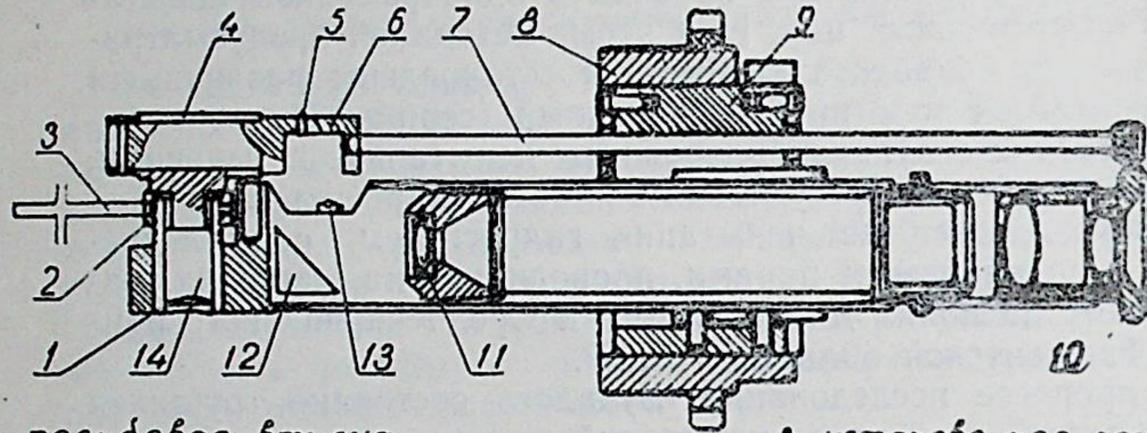
Применение этих приборов позволило с достаточной степенью точности определить величину местного износа и его характер распределения по поверхностям трения.

Измерение величины износа деталей проводилось через определенное число циклов, а общая продолжительность испытаний составила 120 000 двойных ходов золотника.

Изучение состояния поверхностных слоев до и после испытания проводилось при помощи профилометра ПЧ-2, прибора для определения микротвердости ПМТ-3 и металлографического микроскопа МИМ-7.

# Приборы для измерения местного износа:

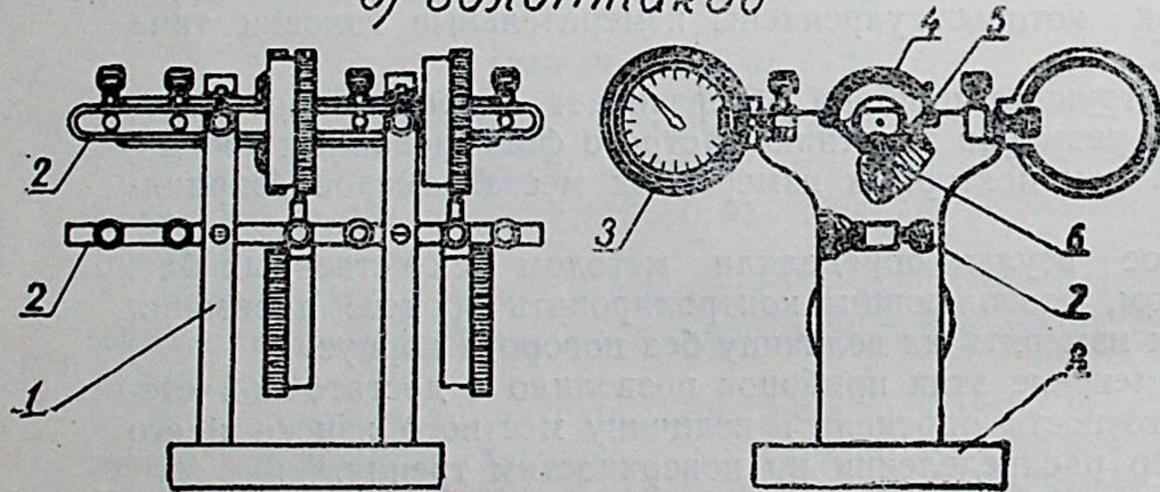
## а) втулок



- 1 - резьбовая втулка
- 2 - гайка механизма подачи
- 3 - рукоятка механизма подачи
- 4 - опора резиновой головки
- 5 - резец
- 6 - резиновая головка
- 7 - вал привода резиновой головки

- 8 - устаканочная гайка
- 9 - корпус прибора
- 10 - окуляр
- 11 - объектив
- 12 - призма
- 13 - лампочка
- 14 - направляющая шпатель

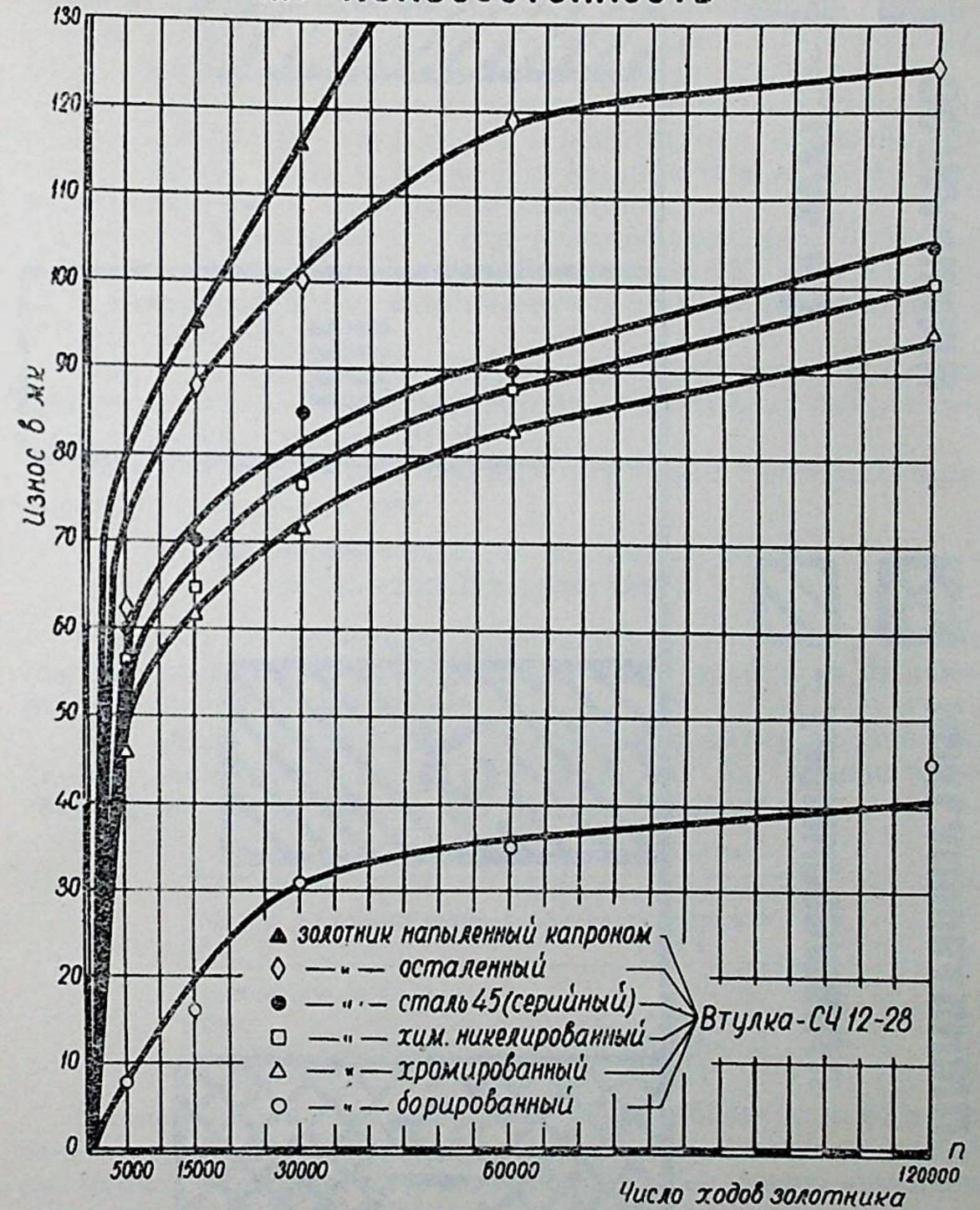
## б) золотников



- 1 - стойка
- 2 - державка
- 3 - индикаторная головка
- 4 - хомут

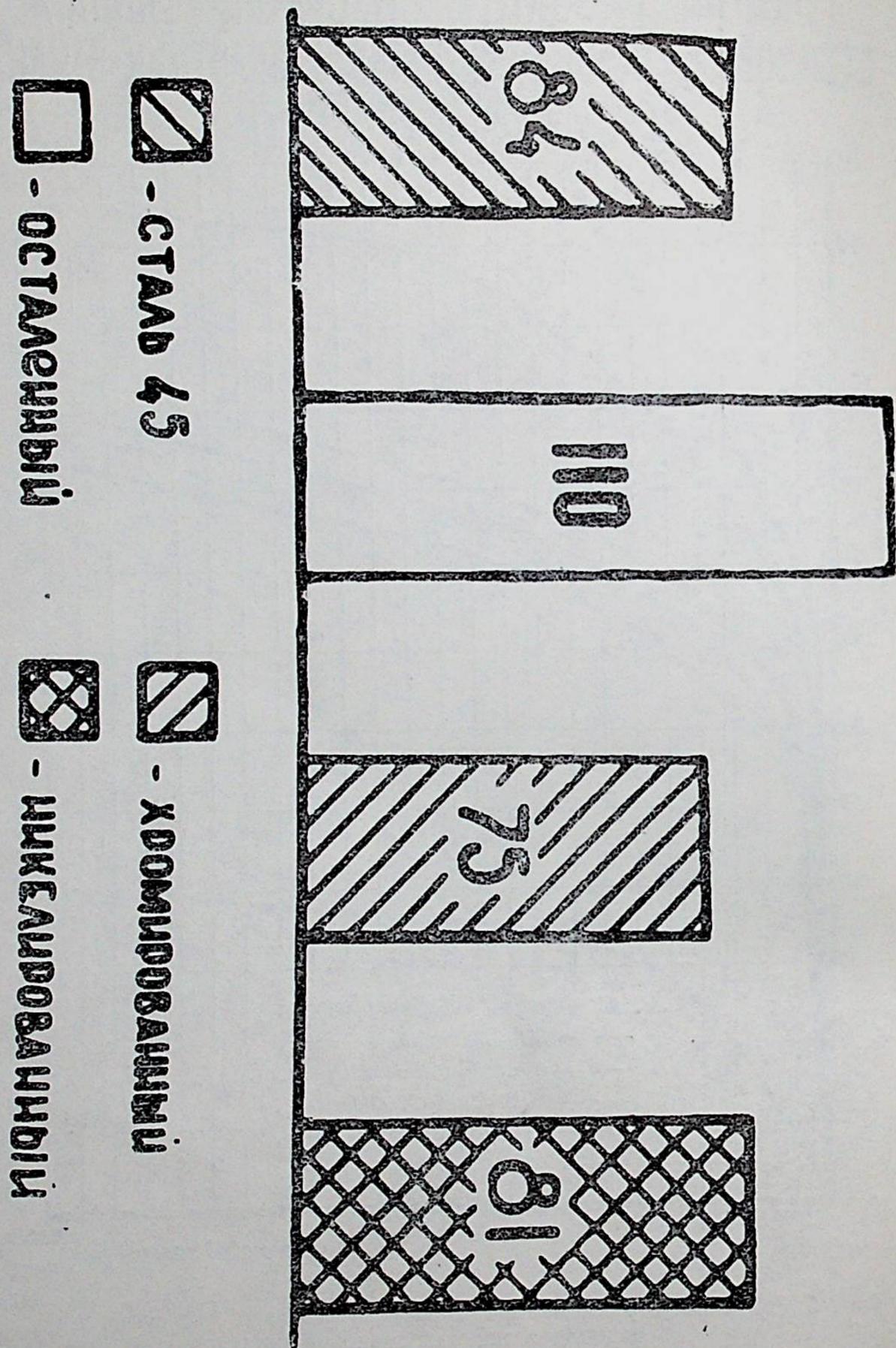
- 5 - пружина
- 6 - пружинный фиксатор
- 7 - винт крепления
- 8 - опорная плита

# График результатов сравнительных стендовых испытаний пары „ЗОЛОТНИК-ВТУЛКА“ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ



Фиг. 5. Суммарные результаты сравнительных стендовых испытаний образцов деталей золотниковой пары.

Фиг. 6. Результаты сравнительных эксплуатационных испытаний золотниковых пар на износостойкость за 1,5 года.



Результаты стендовых испытаний, приведенные на графике (фиг. 5) показали, что наименьший износ у пары с борированным образцом и наибольший — с напыленным капроном. Пары с хромированными и химически никелированными образцами имеют меньший износ, чем эталонная пара с образцом из стали 45 с объемной калкой, а износ пар с остальеными образцами несколько больше износа эталона.

На основании анализа результатов стендовых испытаний в распределителе гидросистем, работающих в хозяйственных условиях, были установлены хромированные, химически никелированные и остальенные золотники.

После 1,5 лет работы износ золотниковой пары с хромированным золотником составил в среднем 75 мк., износ пары с никелированным золотником — 81 мк., с остальеным — 110 мк. (фиг. 6).

При этом износ эталонной золотниковой пары, работающей совместно с восстановленными деталями за тот же период времени составил 84 мк.

Результаты производственных испытаний подтвердили лабораторные исследования.

#### Технико-экономическая оценка способов восстановления золотников

С целью определения наиболее перспективного метода восстановления золотниковой пары было проведено технико-экономическое исследование.

Как видно из таблицы 1 наилучший показатель экономической целесообразности восстановления  $K_3$  у золотника, восстановленного химическим никелированием.

Таблица 1

Метод восстановления	Показатель экономической целесообразности ( $K_3$ )
Химическое никелирование	0,780
Холодное хромирование	0,710
Осталивание	0,714

Однако, полное представление о рентабельности того или иного метода этот показатель не дает, так как он не связан со сроком службы или величиной износа восстановленной детали.

После сопоставления экономической эффективности с величиной износа восстановленных золотников (таблица 2)

Центральная научная  
Библиотека  
Академии наук Киргизской ССР

268820

был сделан вывод о том, что наиболее рациональным способом восстановления для данной пары является холодное хромирование.

Таблица 2

№№ шп	Показатели	Методы восстановления		
		холодное хромирование	химическое никелирование	осталливание
1	K'	0,290	0,220	0,280
2	K''	0,892	0,964	1,310
3	K	0,325	0,228	0,214

$$K' = \frac{\text{стоимость восстановленной детали}}{\text{стоимость новой детали}}$$

$$K'' = \frac{\text{износ восстановленной детали}}{\text{износ новой детали}}$$

$$K = \frac{K'}{K''}$$

K — технико-экономический критерий.

Экономический эффект от применения данного способа восстановления составил 1 р. 42 коп. на каждый золотник.

На основании данных производственных испытаний видно, что износ пары с хромированным золотником при одних и тех же условиях работы меньше чем серийной пары. В этом случае экономия возрастет до 1 руб. 60 коп.

Годовая экономия по УзССР за счет восстановления золотников хромированием составит около 5 000 рублей.

Если же отнести экономию на весь машинный парк страны, то экономический эффект будет равен сотням тысяч рублей.

### ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований позволили сделать следующие выводы:

1. Гидравлический привод управления машин, применяемых в хлопководстве, работает при повышенной запыленности воздуха.

2. Основной причиной износа золотниковой пары гидравлического распределителя является абразивное изнашивание.

3. Рабочие поверхности золотника и втулок изнашиваются неравномерно. Такой характер распределения износа поверхностей трения вызван конструктивными особенностями гидропривода и спецификой условий его работы.

4. Максимальный износ деталей имеет место на крайних рабочих шейках золотника и на поверхности второй втулки. Эти места нами рекомендованы для измерения при дефектовке деталей.

5. Предельным радиальным зазором между золотником и втулкой распределителя, исследуемого гидропривода, является величина 45—50 мк.

6. На величину щелевого зазора между золотником и втулкой практически влияет только суммарный износ обеих деталей.

7. Восстановление изношенного золотника технологически и экономически более целесообразно, чем восстановление втулок.

8. Предложенные конструкции приборов для определения местного износа внутренних и наружных цилиндрических поверхностей с небольшими изменениями могут быть использованы для различных исследований.

9. Наибольшую износостойкость при сравнительных износных испытаниях показала золотниковая пара с борированным золотником. Однако, способ борирования не дает увеличения размеров поверхности и поэтому не был рекомендован для восстановления деталей. Этот способ может быть использован для упрочнения поверхностей золотников, восстановленных другими способами.

Для восстановления изношенных золотников рекомендовано холодное хромирование, химическое никелирование и осталивание.

10. Наиболее перспективным способом восстановления, с точки зрения технико-экономических показателей, является хромирование.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При выполнении настоящей диссертации были исследованы условия и режимы работы гидропривода некоторых машин, применяемых в хлопководстве; изучен характер и установлены причины неравномерного износа деталей золотниковой пары распределителя; даны рекомендации по дефектовке золотника и втулок при ремонте; исследовано влияние величины зазора в золотниковой паре на утечки рабочей жидкости и работоспособность машины и определен предельный зазор в паре; исследованы различные формулы для определения величины утечки рабочей жидкости и установлены причины расхождения между теоретическими и экспери-

ментальными данными; уточнено значение этих формул, позволившие максимально сблизить расчетные и опытные результаты; исследовано влияние износа отдельных деталей золотниковой пары на величину щелевого зазора; установлена деталь, подлежащая восстановлению и выбраны наиболее перспективные способы ее восстановления; изучены методы измерения местного износа деталей и сконструированы специальные приборы для использования метода искусственных баз и микрометража; проведены износные стендовые и эксплуатационные испытания, позволившие установить наиболее износостойкую пару трения; дана технико-экономическая оценка выбранного способа восстановления.

2. Работа над данной темой выявила ряд направлений для дальнейших исследований, к которым можно отнести:

1) Исследование влияния чистоты и геометрической формы поверхности деталей золотниковой пары на величину утечки рабочей жидкости.

2) Определение величины и влияние неуравновешенных сил на износ деталей золотниковой пары.

3) Изыскание способов для более совершенной защиты рабочей жидкости гидросистемы от абразива.

Материалы исследований обсуждены на XIX, XX и XXIV научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства в 1960, 1961, 1965 годах и на научно-технической конференции Среднеазиатского института механизации и электрификации сельского хозяйства в 1961 году (тезисы докладов опубликованы).

**Основное содержание диссертации опубликовано  
в следующих статьях автора:**

1. Гриндорф Б. М., Хайкин Э. Л. — Измерение местного износа на вогнутых цилиндрических поверхностях. Бюллетень «Механизация хлопководства», 1965, № 1.

2. Хайкин Э. Л. — О влиянии величины зазора в золотниковом распределителе на работу гидросистемы. Научно-технический сборник «Механизация хлопководства», 1965, № 6—7.

3. Хайкин Э. Л. — Исследование износостойкости основных деталей золотникового распределителя, восстановленных различными способами. Научно-технический сборник «Механизация хлопководства», 1965, № 9.