

# IMPROVING THE DURABILITY OF COMPRESSOR EQUIPMENT PARTS IN THE CHEMICAL AND PETROCHEMICAL INDUSTRIES

Turayev T.T. Ergashev D.A., Madaminov B. M.

10.37547/gbps-04

ISBN - 9781957653044



04-11-2022

# **Global Book Publishing Services (GBPS)**

**October 2022**

**Global Book Publishing Services is an International Monograph & Textbook  
Publisher.**

**Copyright 2022 by GBPS. All rights reserved.**

**No part of this textbook report may be reproduced or transmitted in any form  
or by any means,**

**electronically or mechanically, including photocopy, recording, or any  
information storage and retrieval system, without permission in writing from  
the publisher. English Language Tested textbook,**

**All the content of textbook report trademark and copyrighted by Global Book  
Publishing Services.**

**All the work done with all premium features.**

**Global Book Publishing Services is an trademark publisher of monograph. All  
rights reserved by Global Book Publishing Services.**

**Global Book Publishing Services**

**Publisher**

**1211 Polk St, Orlando, FL 32805, USA**

**Email [info@scientificpublication.org](mailto:info@scientificpublication.org)**

Turayev T.T. Ergashev D.A., Madaminov B. M.

# IMPROVING THE DURABILITY OF COMPRESSOR EQUIPMENT PARTS IN THE CHEMICAL AND PETROCHEMICAL INDUSTRIES (monograph)

UDC: 821.512.133-1

KBK: 22.141107

T-49

**Turayev Tirkash Turayevich** (PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Fergana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan); **Ergashev Dilmurod Adiljonovich** (PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Fergana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan); **Madaminov Bakhrom Mirodilovich** (PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Fergana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan), "Improving the durability of compressor equipment parts in the chemical and petrochemical industries" (monograph). Global Book Publishing Services (GBPS) USA, 2022, 132 p.

## Reviewers:

**T.U. Umarov**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Uzbekistan

**Sh.T. Tursunov**, PhD, Head of the Department of Engineering Technology and Automation, Fergana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan

This monograph was discussed at the meeting of the "Department of Mechanical Engineering & Automation" and by the Council of the Faculty of Mechanical Engineering for approval by the Scientific Council of the Fergana Polytechnic Institute.

The monograph was approved for publication by the Scientific Council of the Fergana Polytechnic Institute. Protocol No. 10 of "30" "July" 2022.

ISBN: 9781957653044

Crossref doi:- 10.37547/gbps-04

Тураев Т.Т. Эргашев Д.А., Мадаминов Б. М.

# ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ КОМПРЕССОРНЫХ ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(монография)

УДК: 821.512.133-1

КБК: 22.141ю7

T-49

Старший преподаватель Тураев Тиркаш Тураевич, доктор философии в области технических наук (PhD), старший преподаватель Эргашев Дилмурод Адильжонович, доктор философии в области технических наук (PhD), старший преподаватель Мадаминов Бахром Миродилович. «Повышение долговечности деталей компрессорных оборудования химического и нефтехимического промышленности» (монография). Фергана: Издательство «Global Book Publishing Services (GBPS) USA», 2022, 132 с.

## Рецензенты:

Профессор кафедры «Технология машиностроения», Ташкентского Государственного Технического Университета, им. Ислама Каримова д.т.н. Умаров Т.У.

Заведующей кафедры «Технология машиностроения и автоматизация», Ферганского политехнического института, PhD, Турсунов Ш.Т.

Монография обсуждена на заседании кафедры «Технология машиностроения и автоматизация», Советом «Механико – машиностроительного» факультета к утверждению Ученым Советом Ферганского политехнического института.

Монография утверждена к изданию Ученым Советом Ферганского политехнического института. Протокол №10 от «30» «июль» 2022г.

ISBN: 9781957653044

Crossref doi:- 10.37547/gbps-04

## ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов.....	6
ПРЕДИСЛОВИЯ.....	8
ВВЕДЕНИЕ.....	28
ГЛАВА 1. КОМПРЕССОРЫ.....	31
1.1. Общее понятие о компрессорного оборудования.....	31
1.2. Принцип работы компрессора.....	31
1.3. Разновидности конструкций компрессоров.....	32
1.4. Компрессоры объёмного действия.....	34
1.4.1. Поршневой компрессор.....	34
1.4.2. Спиральный компрессор.....	35
1.4.3. Кулачковый компрессор.....	35
1.4.4. Винтовой компрессор.....	36
1.5. Преимущества винтовых компрессоров.....	37
1.6. Режимы работы компрессоров.....	42
1.7. Разновидности винтовых компрессоров.....	43
1.7.1. Расходы на приобретение агрегата.....	46
1.7.2. Расходы на электроэнергию.....	46
1.7.3. Расходы на обслуживание и ремонт.....	47
1.7.4. Покупка расходных материалов.....	48
1.7.5. Приобретение дополнительного оборудования.....	48
1.8. Роторные компрессоры.....	49
1.8.1. Особенности конструкции и эксплуатации частотных приводов.....	50
1.8.2. Компрессорное оборудование с частотным приводом.....	50
1.8.3. Другие способы оптимизации энергозатрат.....	51
1.9. Винтовой блок.....	54
1.10. Пластинчато-роторный компрессор.....	55
1.10.1. Контуры движения воздуха и масла.....	57
1.11. Шибберный насос.....	58
1.12. Компрессорная станция.....	60
1.12.1. Подбор компрессорных установок.....	61
1.12.2. Резервирование производительности.....	61
1.12.3. Качество сжатого воздуха.....	62
1.12.4. Подбор компрессорного оборудования.....	62

1.13. Твёрдость по Шору (метод отскока) .....	63
ГЛАВА 2. ОБЗОР И АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ, ПАТЕНТНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДАННЫХ .....	68
2.1. Обзор и анализ литературных данных .....	68
2.1.1. Теоретические основы пластической обработки металлов давлением .....	70
2.1.2. Общая оценка качества поверхности, связанной с эксплуатационными свойствами деталей машин и приборов .....	72
2.1.3. Неровность (шероховатость) поверхности, связанной с эксплуатационными свойствами деталей машин .....	74
2.1.4. Повышение долговечности деталей машин путем выбора оптимального метода обработки.....	77
2.1.5. Пластическая обработка металлов деформированием.....	81
2.2. Обзор и анализ патентных данных .....	85
2.2.1. Характеристика технического уровня .....	86
2.3. Обзор и анализ производственных данных .....	90
2.3.1. Статические сведения отказа работы компрессоров за последний период .....	92
Выводы и постановка задачи исследований.....	94
ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНА ЭКСПЕРИМЕНТА .....	99
3.1. Построение математической модели в зависимости от величин неровностей (шероховатости) и нагрузки .....	99
3.2. Влияние давления на снижения исходных неровностей.....	100
3.3. Влияние числа рабочих ходов и скоростей обработки на поверхностную твердость .	100
3.4. Неровность (шероховатость) поверхности и точность обработки.....	103
3.5. Тарирования графика.....	107
3.6. Влияние исходной неровности на неровность поверхности после накатки (параболическая парная регрессия).....	110
3.7. Влияние скорость накатывания и количества рабочих проходов на микротвердость поверхности .....	113
3.8. Линейная модель эксперимент .....	117
ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	122
4.1. Расчет экономического эффективности.....	122
4.2. Расчет ремонт оборудования.....	124

## От авторов

В работе рассматривались актуальные вопросы, направленные на повышение эффективности используемых компрессорных оборудования в химической и нефтехимической промышленности за счет повышения срока эксплуатации качественных параметров рабочей поверхностей детали компрессоров. Приводятся сведения о компрессорах используемых методах обработке металлов деформирования, о влиянии шероховатости поверхности на эксплуатационные показатели деталей и методах повышения долговечности при использовании механической обработки для улучшения качества поверхностного слоя рабочей части штока и гильз.

По результатам анализа литературных данных поставлена задача исследования по повышению коррозионной и износостойкости трущихся поверхностей штока компрессорного оборудования. Для проведения экспериментальных исследований использован аппарат математической статистики и метода планирования эксперимента. и проводился обработки результатов.

Эксперименты производились на образцах деталей цилиндрической формы. Для проведения экспериментальной исследования, экспериментальный стенд был поставлен на оборудованию «Технопарке» кафедры «Технология машиностроение и автоматизации» Ферганского политехнического института, города Ферганы, Республики Узбекистан.

Результаты экспериментальных исследований и рекомендации по повышению долговечности деталей компрессорных оборудования химического и нефтехимического промышленности внедрен ПО «Ферганаазот» города Ферганы.

В работе рассматривалась актуальная задачи по повышению эффективности эксплуатируемых компрессорных оборудования в химической и нефтехимической промышленности. В компрессорах часто выходят из строя детали гильз и шток. Так как, они в процессе работы испытывает трению. За

счет трения увеличивался зазор, понизился компресс и уменьшился производительности компрессоров. Приведены краткие сведения об основах пластической обработки металлов давлением, о влиянии шероховатости поверхности на эксплуатационные показатели деталей и методах повышения долговечности при использовании механической обработки для улучшения качества поверхности.

По результатам анализа литературных данных поставлена задача исследования по повышению коррозионной износостойкости трущихся поверхностей штоков компрессорного оборудования. Для проведения экспериментальных исследований использован аппарат математической статистики и метода планирования и обработки результатов. Эксперименты проводились на образцах цилиндрической формы в лаборатории кафедры «ТМС и МС».

Приведены результаты экспериментальных исследований и рекомендации по упрочнению микротвердости поверхности с целью повышения коррозионной износостойкости деталей типа штоков компрессорного оборудования.



## ПРЕДИСЛОВИЯ

В современных условиях широкое использование достижений мировой науки и инновационной деятельности становится важнейшим фактором динамичного и устойчивого развития всех сфер жизнедеятельности общества и государства, построения достойного будущего нового Узбекистана. За истекший период создана необходимая инфраструктура в сфере развития науки и технологий, сформирован определенный интеллектуальный и технологический потенциал. Вместе с тем наличие следующих системных проблем, недостаточное использование имеющихся возможностей и потенциала для разработки и внедрения местных (национальных) и инновационных идей, и технологий препятствуют эффективной реализации намеченных реформ и ускоренному развитию страны.

1) отсутствуют должный комплексный анализ и изучение достижений и тенденций развития современной науки и инновационных технологий при разработке государственных программ, в результате поверхностного анализа, чего данные программы зачастую нацелены на устранение последствий проблем и не решают вопросы долгосрочного развития;

2) текущее состояние организации фундаментальных и прикладных исследований не обеспечивает должные условия для полной реализации и практического внедрения собственного и инновационных идей и разработок;

3) отсутствие единого органа или организации, обеспечивающего стратегическое прогнозирование, сопровождение и внедрение инновационных идей, разработок и технологий, разрозненное функционирование научно-исследовательских и информационно-аналитических учреждений не позволяют в полной мере интегрировать науку, образование и производство, что снижает эффективность проводимых исследований;

4) недостатки в организации деятельности по определению приоритетных сфер и отраслей, требующих первоочередного внедрения высоких технологий,

«KNOW – HOW» и современных разработок, приводят инновационных товаров (работ, услуг);

5) преобладание в отдельных случаях узковедомственных интересов при организации научно-исследовательских работ и внедрении инновационных идей и разработок является одной из причин нерационального использования бюджетных средств;

б) не уделяется должного внимания применению государственно-частного партнерства внутри отраслевых предприятий в реализации инновационных идей, разработок и технологий, а также совершенствованию инфраструктуры для внедрения инновационных продуктов;

7) сохраняется низкий уровень сотрудничества с зарубежными организациями, обладающими высоким опытом и потенциалом в сфере разработки и внедрения инновационных продуктов, а также их использования в решении актуальных проблем развития отечественной науки, промышленности и экономики в целом.

Президент республики Узбекистан Ш. Мирзиёев в Послании к Олий Мажлису от 22 декабря 2017 года подчеркнул, что «Вместе с тем перед нами стоят ещё немалые задачи по укреплению национальной экономики, чтобы войти в ряд развитых государств. Сегодня в мире растет число стран, динамично развивающихся за счет внедрений зарубежных моделей конкуренция способных зарубежных идей, «KNOW – HOW» и «Умных технологий».

К сожалению, данное направление является удовлетворительной.

Данные обстоятельства требуют коренного совершенствования конституциональных и организационно-правовых основ государственного управления в сфере организации разработки и внедрения инновационных идей и технологий.

Сейчас химическая промышленность Узбекистана, располагая значительным производственным, сырьевым и научно-техническим

потенциалом, представляет собой одну из ведущих базовых отраслей экономики страны. Она вносит весомый вклад в развитие экономики республики, а также в ее экспортный потенциал.

Химическая промышленность Республики Узбекистан имеет давнюю историю развития. Первые химические предприятия были созданы в начале 30-х годов XX века. Учитывая широкую потребность сельского хозяйства страны в минеральных удобрениях и пестицидах, на территории Республики Узбекистан был создан ряд крупных химических предприятий, что впоследствии стало прочным фундаментом создания одного из самых мощных химических комплексов в Центральной Азии.

Сложившаяся структура АО «Узкимёсаноат» в настоящее время создает возможность проводить комплексную политику развития химической отрасли республики, включая проведение научных исследований, производства химической продукции, распределения и поставки продукции конечным потребителям.

Производственной мощностью предприятий данной Компании позволяют в полной мере обеспечить внутреннюю потребность Узбекистан в химической продукции, а также осуществлять её экспорт на постоянной основе. Отрасль химической – нефтехимической промышленности производит сырьё не только для себя, но и для других отраслей промышленности, сельского хозяйства и быта.

Предприятия Компании можно разделить на четыре основных производственных комплекса по типу производимой продукции:

1. Комплекс производств минеральных удобрений и неорганических веществ.
2. Комплекс производств органической химии, искусственных волокон и полимерных материалов.
3. Комплекс производств химических реагентов для энергетической, золотодобывающей, химической промышленности.

#### 4. Производство химических средств защиты растений.

Производимая химическая продукция, такая как азотные и фосфорные удобрения, уксусная кислота, хлорат натрия, цианистый натрий азотная кислота и другие, покрывает потребность внутреннего рынка и частично рынков содружественных стран Центрально азиатского региона.

По объему и видам производимых минеральных азотных и фосфорных удобрении, ГАК «Узкимёсаноат» занимает ведущее место в регионе, являясь крупнейшим производителем аммиака, карбамида, аммиачной селитры, сульфата аммония, аммофоса, суперфосфата и нитрофоса в Центральной Азии.

АО «Ферганаазот» является монопольным производителем ацетатов целлюлозы в СНГ, одним из крупнейших производителей хлорат - магниевого дефолианта и хлората натрия.

Ферганский химический завод фурановых соединений – уникальное предприятие региона по производству хлопковой целлюлозы различных сортов, широко применяемой во многих отраслях промышленности. Продукция предприятия экспортируется в Россию, Украину и Китай.

АО «Навоиазот» производит каустическую соду, хлор и хлоропродукты, химические реагенты для золотодобывающей промышленности, полиакриламид, метанол, полиакрилон, итрильное волокно. В 2021 году будет внедрен и начнёт производить нового дефолианта введенный в состав хлорат кальция – магниевого препарата из доломита м.р. «Навбахор» карбамида и этиленпродуцентов,

Ферганский завод химического волокно в составе АО «Ферганаазот» – одно из двух предприятий в СНГ, производящих ацетатные нити. Предприятие также имеет новейшую производственную линию по производству гранулах, Полиамида-6 и кордной ткани.

Одним из основных направлений развития Компании организация производств новых видов продукции на основе современных энерго - и ресурсосберегающих технологий.

Создан химический комплекс в 1997 году, Шортангаз производящий полиэтиленовую продукцию.

Одно из крупных предприятий Компании – Кунградский содовый завод, производящий кальцинированную соду, введено в эксплуатацию в 2006 году и является современным высокопроизводительным и энергосберегающим производством. Введенные в эксплуатацию в 2002 году по проекту французской компании, производства хлорат – магниевого дефолианта и хлората натрия, обеспечивают производство высококачественной продукции. Линия по производству хлопковой целлюлозы на Ферганском химическом заводе фурановых соединений, введенная в эксплуатацию в 2002 г., оснащена немецким оборудованием и является уникальным производителем данного вида продукции в СНГ.

На АО «Самаркандкиме» специалистами АО «Узкимесаноат» совместно с учеными Академии Наук Республики Узбекистан, разработана и внедрена технология переработки джеройских фосфоритов, с выпуском нового вида минеральных удобрений - нитрокальция фосфатного удобрения (аналог нитрофоса). Технология производства НКФУ основана на азотнокислом разложении фосфоритов и является, по сравнению с существующими производствами, высоко-экологичной.

Совместная предприятия АО «Электрохимзавод» производит высококачественные эффективные пестициды для сельского хозяйства республики. В настоящее время Компания проводит активную инвестиционную политику. Проводятся организационные мероприятия по модернизации и реконструкции крупнотоннажных агрегатов по производству аммиака, с применением новейших разработок местных и зарубежных инжиниринговых компаний, целью которых является обеспечение наибольшей производительности при значительном энергосбережении.

АО «Узкимесаноат» уделяет особое внимание поддержке научных исследований в отрасли. В структуре Компании функционируют проектный

институт АО «Узкимесаноатлойиха» и Ташкентский научно-исследовательский институт химической технологии.

АО «Узкимесаноатлойиха» является генеральным проектировщиком предприятий химической промышленности Республики Узбекистан - единственным институтом аналогичного профиля в Центральной Азии. Институт имеет лицензии:

- на разработку проектно-сметной документации на строительство объектов гражданского и производственного назначения;

- на проектирование технологических магистральных трубопроводов химической промышленности на территории Республики Узбекистан, средств охранной и пожарной сигнализации, пожара и взрывоопасных производств на предприятиях отрасли.

АО «Узкимёсаноатлойиха» специализируется в проектировании производств аммиака, азотных и фосфорных минеральных удобрений, метанола, кислорода, водорода, хлора, каустической соды, хлоратмагнеиевого дефолианта, хлопковой целлюлозы, капролактана, полиамида, коврового жгута, синтетического волокна, спирта, уксусной кислоты и другие продукции.

Ташкентский научно-исследовательский институт химической технологии является коллективом с большим интеллектуальным потенциалом, материально-технической базой, парком научных приборов и оборудования, способным решать крупные научные задачи в области химических технологий. В отрасли работают доктора (DSc) и кандидаты технических наук (Phd), имеются обширные связи с Академией Наук Республики Узбекистан и многими научно-исследовательскими институтами. На предприятиях Компании работает более 40 тысяч высококвалифицированных работников, многие из которых являются потомственными химиками, преданными своей работе. Специалисты Компании – один из главнейших ресурсов работоспособности и развития химической отрасли.

Инвестиции в повышение квалификации и профессионального потенциала работников Компании являются одним из главных стратегических направлений развития химической отрасли страны.

Ежегодно за счет предприятий Компании, сотни студентов обучаются в высших учебных заведениях республики, в числе которых Ташкентский химико-технологический институт, Ферганский политехнический институт, Навоийский Государственный горный институт, Ташкентский Государственный технический университет, Кунградский филиал Ташкентского химико-технологического института.

На протяжении двух последних лет свыше 30 перспективных работников предприятий Компании были направлены для обучения в Российский химико-технологический Университет им. Д.И. Менделеева.

Руководится и предприятий Компании всех рангов ежегодно, в целях повышения квалификации, проходят обучение в Академии Общественного и Государственного Строительства при Президенте Республики Узбекистан, в Высшей Школе Бизнеса при данной академии, а также в ведущих учебных заведениях республики в сфере профессионального менеджмента и корпоративного управления.

Обладая значительными конкурентными преимуществами в производстве химической продукции, выражающимися такими факторами, как огромный потенциал природных ресурсов, мощная производственно-техническая база и квалифицированные трудовые ресурсы, отрасль представляет собой крупнейший потенциальный объект вложения прямых и портфельных инвестиций. Широкая номенклатура производимой продукции и высокий уровень ее качества, выдвигают производителей химической продукции Узбекистана на мировой рынок, как одних из наиболее востребованных участников.

Химическая промышленность Узбекистана является динамично развивающейся отраслью. По итогам 2006 года прирост производства

промышленной продукции к 2005 году составил 114,8%, экспорт продукции увеличился на 129,0%. В последние годы предприятиями АО «Узкимесаноат» проделана объемная работа по выходу на такие потенциально емкие рынки Азии, как Китай, Иран, Турция и Афганистан, страны Восточной Европы и Прибалтийские республики.

В целях дальнейшего развития предприятий, входящих в структуру АО «Узкимесаноат», разработана Программа развития химического комплекса до 2021 года, включающая такие направления как:

1. Модернизация и технологическое перевооружение по Производств минеральных удобрений.

2. Оптимизация производимого ассортимента химической продукции согласно требованиям рынка.

3. Строительство современных производств по этапно выводом устаревших мощностей или вводом новейших технологии, повышающих срока службы.

4. Создание производств новых, наукоемких видов химической продукции для внутреннего и внешнего рынков.

В рамках Программы развития разработана инвестиционная программа, которая содержит ряд перспективных инвестиционных проектов, реализация которых в будущем обеспечит новый этап в развитии химии нового Узбекистана.

АО «Узкимесаноат» готов активно работать с зарубежными инвесторами в вопросах приватизации предприятий отрасли, привлечения иностранного капитала и управленческого опыта.

Сегодня трудовые коллективы химической отрасли готов, полны решимости для дальнейшего развития компании и выполнения задач, поставленных перед ними Правительственным по развитию экономики нового Узбекистана. В целях обеспечения ускоренного инновационного развития всех отраслей экономики и социальной сферы Президент Республики Узбекистан



Шавкат Мирзиёев издал Указ «Об образовании Министерства инновационного развития Республики Узбекистан» от 29 ноября 2017 год. В данном Указе отмечено, что мировой опыт показывает, что непрерывное практическое внедрение новшеств, обеспечивающих качественный рост во всех сферах, превратилось в движущую силу общественного и экономического развития.

Сегодня наиболее успешными и устойчивыми являются те страны, в которых реализуются инновационные модели развития и «умные» технологии. Устойчивый прогресс таких стран, их конкурентоспособность на мировом рынке основывается не на экспорте природных ресурсов и использовании физического труда, а на инновационных идеях и разработках.

В данных странах реализующая государственной стратегии по внедрению инновационных идей, разработок и технологий осуществляется специальными ведомствами, условно именуемыми «министерствами будущего».

Основной миссией ведомств, ответственных за инновационное развитие, является повышение экономического роста, конкурентоспособности страны на мировых рынках и увеличение интеллектуального вклада в экономику за счет широкого внедрения инноваций и научных достижений.

Стратегией действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017 – 2021 годах обозначены конкретные цели по кардинальному повышению благосостояния и улучшению качества жизни населения, всестороннему и ускоренному развитию общества и государства, модернизации страны и либерализации всех сфер жизни.

Сейчас и в дальнейшем, нам предстоит превратить Узбекистан в динамично развивающуюся страну, обладающую стабильной рыночной экономикой с высокой долей инновационного и интеллектуального вклада в производство, современной и конкурентной на глобальном масштабе промышленностью, а также благоприятным инвестиционным и деловым климатом.

Достижение поставленных целей невозможно без полноценного перехода Узбекистана на инновационную модель развития, что обуславливает необходимость создания в стране эффективной системы государственной поддержки инновационной деятельности и стимулирования практического внедрения инновационных идей, разработок и технологий в государственное управление, приоритетные отрасли экономики и социальную сферу.

Однако, несмотря на богатый интеллектуальный и инфраструктурный потенциал, химической - нефтехимической отрасли для развития экономики в стране не налажена работа на системной основе по внедрению инноваций, что обусловлено наличием следующих системных проблем:

- отсутствуют должный комплексный анализ и изучение достижений и тенденций развития современной науки и инновационных технологий при разработке государственных программ развития;

- не имеется единого органа, который обеспечивал бы стратегическое прогнозирование, сопровождение и внедрение инновационных идей, разработок и технологий, а также координацию деятельности научно-исследовательских и информационно-аналитических учреждений страны; для развития экономики страны;

- не уделяется должного внимания широкому' применению возможностей государственно-частного партнерства, привлечению инвестиций в реализацию инновационных идей, разработок и технологий, а также совершенствованию инфраструктуры для внедрения инновационных продуктов;

- не налажена системная и целенаправленная деятельность по определению приоритетных сфер и отраслей, требующих внедрения высоких технологий, ноу-хау и современных разработок;

- сохраняется низкий уровень сотрудничества с зарубежными (международными) организациями, обладающими высоким потенциалом в сфере инновационных идей, разработок и технологий.

В целях решения имеющихся проблем, а также коренного совершенствования институциональных и организационно-правовых основ поддержки инновационной деятельности, стимулирования внедрения инновационных идей, разработок и технологий, научных достижений Президентом Республики Узбекистан принят Указ «Об образовании Министерства инновационного развития Республики Узбекистан».

Данное решение можно рассматривать в качестве важнейшего шага по практической реализации Концепции административной реформы в части широкого внедрения инновационных идей, разработок и технологий.

Указом определены основные направления инновационного развития с грани, включая создание системы стратегического планирования, внедрение инновационных форм государственного управления, формирование современной инфраструктуры развития науки и инновационной деятельности, широкое привлечение инвестиций, совершенствование правовой базы, поддержку и стимулирование научно-исследовательской и инновационной деятельности, активное внедрение передовых технологий в актуальных сферах социальной и экономической жизни.

Указом определены основные направления Министерства инновационного развития Республики Узбекистан его деятельности в сфере государственного и общественного строительства, экономики, сельского хозяйства, социального развития, внедрения передовых технологий, а также охраны окружающей среды и природопользования. Министерство инновационного развития определено органом, осуществляющим единую государственную политику в сфере инновационного и научно-технического развития Республики Узбекистан.

Министерство инновационного развития республики Узбекистан будет выступать единым заказчиком государственных научно-технических программ и проектов, координировать работу органов государственного управления, научно-исследовательских, информационно – аналитических учреждений и

иных организаций по внедрению инновационных идей, разработок и технологий.

Следует отметить мировую тенденцию создания специализированных ведомств, вырабатывающих современные подходы к развитию за счет инновационных технологий, условно именуемых «министерствами будущего».

В целях исключения дублирования в работе, обеспечения единых подходов с 1 января 2018 года упразднены Государственная комиссия по науке и технологиям, Фонд поддержки и развития научно-технической деятельности при Государственной комиссии по науке и технологиям, а также Агентство по науке и технологиям.

Образованный Фонд поддержки инновационного развития и новаторских идей будет являться централизованным источником финансирования инновационных идей и их разработки, с использованием прозрачной системы отчетности по проводимым исследованиям.

В рамках реализации Указа будут пересмотрены задачи и функции министерств, ведомств, научно-исследовательских и информационно - аналитических учреждений, оптимизированы их организационно-штатные структуры и полномочия в целях исключения дублирования деятельности.

Наряду с этим, поручено критически изучить деятельность Академии наук и Высшей аттестационной комиссии в целях кардинального совершенствования научно-исследовательской деятельности и внедрения ее результатов в практику, а также создания научно-экспериментальных специализированных лабораторий, центров высоких технологий, технопарков по разработке высокотехнологичной продукции.

Особое внимание в Указе уделено вопросу создания законодательных основ внедрения инноваций. В этой связи будут разработаны проекты законов «Об инновационной деятельности» и «О науке», определяющих, в том числе, принципы государственного регулирования и формы поддержки научной и

инновационной деятельности, расширение возможностей использования инновационных идей, разработок и технологий.

Создание Министерства инновационного развития призвано обеспечить реализацию единой государственной политики в сфере инновационного и научно-технического развития. Новое ведомство обеспечит мобилизацию имеющихся ресурсов и средств, для реализации инновационных идей, разработок и технологий с рациональным использованием бюджетных средств.

В конечном итоге инновационная модель развития Узбекистана должна стать локомотивом экономического роста, фактором обеспечения: стабильности и благосостояния населения нашей страны.

Важная роль в экономическом потенциале Республики Узбекистан принадлежит химической отрасли. Достижениями химии определяют конкурентоспособность таких отраслей, экономики, как энергетика, сельское хозяйство, машиностроение, автомобилестроение, легкая промышленность, промышленность строительных материалов и других. Без развития химической промышленности невозможно улучшение состояния окружающей среды и решение таких глобальных проблем, как нехватка ресурсов, энергии и продовольствия. Уровень химизации является одним из общепризнанных критериев общественно-экономического развития.

В мировом химическом секторе ассортимент производимой на сегодня продукции превышает 100 тысяч наименований [55].

Рост объемов и расширение сфер применения химических материалов и технологий служат основой обновления материально-технической базы производств и дают колоссальный ресурсосберегающий эффект, без которого невозможно представить развитие современной экономики.

Интенсификация сельского хозяйства, повышение урожайности сельскохозяйственных культур невозможны без использования постоянно обновляющихся минеральных удобрений, пестицидов, гербицидов и новых сортов растений.

Годовой объем мирового потребления минеральных удобрений составляет в среднем 150-160 млрд. тонн. Основными потребителями минеральных удобрений на мировом рынке являются Китай 32%, Индия - 14%, США -13% и Бразилия - 6,4% [55].

Производство минеральных удобрений - один из наиболее развитых сегментов химической промышленности нашей республики. Мировые тенденции развития сельского хозяйства оказывают основное влияние на динамику производства и потребления удобрений. Учитывая прогнозные показатели роста населения, а также увеличение на 9% среднего числа калорий ежедневного потребления человеком, потребление сельскохозяйственной продукции к 2030 г. возрастет на 60%.

Доля производства отдельных видов удобрений на сегодняшний день снижается. Целено направленное внимание уделяется производству комплексных удобрений. Применение комплексных удобрений – это важное направление развития земледелия для комплексного повышения плодородия земли.

Республика Узбекистан располагает всеми необходимыми условиями для развития химической промышленности. Имеются крупные месторождения сырьевых ресурсов: природного газа, газового конденсата, фосфорита, серы, сильвинита, хлористого натрия, известняка, широко используемых в химической промышленности.

Для дальнейшего развития отрасли химической промышленности и внедрения передового опыта зарубежных стран и применения инновационных технологий в отрасли химической промышленности, 28 декабря 2017 года состоялось совещание, под председательством Президента Республики Узбекистан Шавката Мирзиева посвященное текущему финансово - экономическому состоянию предприятий химической промышленности и вопросам развития отрасли.

В соответствии со Стратегией по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017 году в химической промышленности осуществлен ряд преобразований. В частности, в соответствии с постановлением Президента Республики Узбекистан «О мерах по совершенствованию структуры управления АО «Узкимёсаноат» от 12 апреля 2017 года был полностью обновлен состав членов правления акционерного общества, реорганизованы структуры отраслей и управленческого аппарата химической промышленности.

Постановлением Президента Республики Узбекистана от 23 августа 2017 года утверждена Программа развития химической промышленности на 2017 – 2021 годы. В ней предусмотрено реализовать 43 инвестиционных проекта общей стоимостью 3,1 миллиарда долларов, увеличить объемы производства промышленной продукции в 2,4 раза, их экспорт – в 2,7 раза, довести долю локализованной продукции до 42,5 процента и освоить выпуск 43 новых видов продукции, создать свыше 3,2 тысячи рабочих мест. Для упорядочения экспортно-импортной деятельности отрасли, обеспечения прозрачности внешнеторговых операций, самое главное, увеличения объемов и расширения географии продаж химической продукции на внешнем рынке, дальнейшего повышения ее конкурентоспособности и привлекательности было организовано общество с ограниченной ответственностью «Узкимёимпэкс». Осуществляемые широкомасштабные реформы положительно сказываются на химической промышленности. Однако накопившиеся за долгие годы системные проблемы в отрасли все еще ожидают своего решения. Так, в тяжелой финансовой ситуации оказались промышленные предприятия по производству минеральных удобрений.

Отсутствие внимания или же поверхностный подход к финансированию сельского хозяйства становятся причиной возникновения недостатков в системе взаиморасчетов в этой сфере, сказал Шавкат Мирзиёев.

Расходы, связанные с минеральными удобрениями для нужд сельского хозяйства не покрываются. В результате химические предприятия ограничены в возможностях оплаты потребленного при производстве природного газа, электричества, фосфоритного сырья, серной кислоты и других видов товаров и услуг, растет их кредиторская задолженность. В связи с этим, начиная с 2018 года поставку минеральных удобрений потребителям планируется осуществлять через биржевые торги при посредничестве «Единого агента», организуемого при АО «Узкимёсаноат». Вместе с тем имеются недостатки в вопросах снижения себестоимости минеральных удобрений и повышения рентабельности предприятий отрасли. В частности, 67 процентов себестоимости азотных удобрений составляют расходы на энергоресурсы.

Предприятие «Ферганаазот», Дехканабадский завод калийных удобрений, Кокандский суперфосфатный завод, объединения «Аммофос - Максам» и «Максам-Чирчик» 2017 год заканчивают с низкой рентабельностью, а предприятие «Навоиазот» – с убытками. В таких условиях предприятия полностью ограничены в формировании собственных оборотных средств и вынуждены решать проблемы посредством привлечения кредитов под 16 – 18 процентов годовых.

АО «Ферганаазот», 2018 года начал производить нового дефолианта введенный в состав хлорат кальция – магневого препарата из доломита м.р. «Навбахор» карбамида и этиленпродуцентов,

В связи с этим АО «Узкимёсаноат» поручено совместно с соответствующими министерствами и ведомствами разработать программу конкретных мер по сокращению расходов на производство химической продукции и повышению ее конкурентоспособности в 2018 – 2019 годах.

Еще одна проблема, требующая внимания, – износ основного технологического оборудования. Вследствие этого нарушается технологический процесс, из-за нехватки средств оборудование остается без текущего и капитального ремонта.



Президент Республики Узбекистан Шавкат Мирзиёев отметил необходимость разработки отраслевого плана по выполнению текущего и капитального ремонта.

При рассмотрении вопроса об обеспечении сельского хозяйства на научно обоснованной основе фосфорными удобрениями отмечалось, что существующая потребность в объеме 639,6 тысячи тонн обеспечивается лишь на 25 процентов. В связи с этим путем модернизации имеющихся мощностей предусматривается доведение объемов производства до 177 тысяч тонн в 2019 году, а за счет строительства нового комплекса по производству фосфорных удобрений в 2021 году – до 550 тысяч тонн.

На совещании была в критическом духе проанализирована деятельность научно-исследовательских и проектных институтов, центров по повышению квалификации и диагностике. Развитие химической отрасли, обеспечение конкурентоспособности соответствующей продукции на мировом рынке, коренная диверсификация сферы непосредственно зависят от научно – исследовательских, проектных, инжиниринговых, диагностических центров и, самое важное, от потенциала кадров. Однако положение дел в этом направлении все еще находится в неудовлетворительном состоянии. В связи с этим АО «Узкимёсаноат» поручено совместно с соответствующими министерствами и ведомствами, а также Южнокорейским исследовательским институтом химических технологий организовать на базе проектного института «Узкимёсаноатлойиха» и Ташкентского научно – исследовательского института химических технологий единый центр, сочетающий научно – исследовательскую, инжиниринговую, проектировочную и диагностическую деятельность, а также повышение квалификации работников.

По обсужденным на совещании вопросам должностным лицам даны соответствующие поручения.

Это и есть актуальные проблемы инновационного развития химической и нефтехимической промышленности современного этапа.

Для решения этих проблем 16 октября 2017 год Кабинета Министров Республики Узбекистан принял постановление «Об организационных мерах, по созданию кластеров молодежного предпринимательства» от 16.10.2017 г №834.

В Послании Президента Республики Узбекистана Шавката Мирзиёева в Олий Мажлис, сказано, что «Как известно, текстильная промышленность Узбекистана способна перерабатывать до 1 миллиона 400 тысяч тонн хлопкового волокна. Этого достаточно, чтобы полностью удовлетворить сырьевые потребности отечественных производителей готовой продукции. Однако в управлении переработкой хлопкового волокна существует еще множество проблем, что приводит к снижению рентабельности производства и переработки хлопка-сырца. В связи с необходимостью решения имеющихся в отрасли проблем и стимулирования отечественных производителей был принят отдельный указ Президента. До настоящего времени мы продавали хлопковое сырье отечественным текстильным предприятиям только через акционерное общество «Узпахтасаноат». Согласно указу теперь они смогут приобретать хлопок – сырца непосредственно в фермерских хозяйствах на основе прямых договоров. В рамках организации хлопково-текстильных кластеров в Навоийской, Бухарской и Сырдарьинской областях начата апробация системы выращивания, ценообразования и реализации хлопкового сырья на основе рыночных механизмов. Само время требует освоения этого положительного опыта в масштабах всей страны». Поэтому надо внедрять кластеризацию в отрасли химической промышленности. Перечисленными признаками определяются следующие специфика и особенности кластерных технологий:

- закономерностью при образовании кластеров является совместная согласованная инновационная программа их участников, объединяющая их в единую производственную систему. Инновационная природа и структура кластера направлены на снижение совокупных затрат на исследование и разработку новшеств за счет повышения эффективности каждой его производственной структуры;

- успешное развитие кластера может быть обеспечено лишь при условии построения кластера не по специализированному, а по дифференцированному варианту или смешанному типу;

- производственная структура кластера всегда является более выгодной, чем отраслевая, так как в кластере внутрифирменные связи всегда более тесные, естественны и экономически целесообразны;

- при организации кластера создаются условия для получения эффекта масштаба производства, основой которых являются наличие одной или нескольких фирм, создающих инновационное ядро кластера, вокруг которого формируется сырьевая и перерабатывающая база;

- кластерная производственная структура синтезирует эффект, возникающий на основе всеобщей стандартизации продукции;

- предприятия кластера могут преодолеть низкий порог рентабельности внутри кластера за счет специализации производства, использования KNOW-HOW, повышения производительности труда и снижения себестоимости продукции;

- предприятия, вступая в кластер, могут преодолеть нижнюю границу рентабельности внутри кластера с помощью специализации производства, применения «KNOW – HOW», обеспечивающие повышение производительности труда и снижение себестоимости продукции;

- основой для развития и формирования конкурентоспособных экспортно-ориентированных производств в системе кластерных технологий является производство сети, концентрация крупных инвестиционных проектов, которые могут многократно изменяться технологически, увеличивать добавленную стоимость при каждом переделе;

- базой для развития и формирования конкурентоспособных экспортно-ориентированных производств в системе кластерной технологии становятся сетевые производства, аккумулирующие в себе крупные инвестиционные

проекты, которые технологически можно многократно преобразовывать, увеличивая на каждом переделе размер добавленной стоимости.

## ВВЕДЕНИЕ

Для решения этих задач одним из ведущих отраслей является машиностроения. Ее продукция, различная по назначению, поставляется другим отраслям народного и сельского хозяйства. Рост потребности в народном хозяйстве, а также темпы перевооружения их в значительной степени зависят от уровня безотказной работы деталей и узлов промышленных машин.

Технический процесс в машиностроении характеризуется не только улучшением конструкции машин, но и обеспечением срока пригодности трущихся поверхностей деталей, связанных с их эксплуатацией. Причем, предусматривается изготовление дешевых деталей и узлов машин. Улучшение эксплуатационных свойств деталей машин и ее долговечности во многом зависит от применяемых методов обработки.

Машиностроительная наука играет важнейшую роль при развитии химической и нефтехимической промышленности, которая по выпускаемой продукции, сырьевой базе и энергозатратам стоит на одном из первых мест [57]. Поэтому внедрение в нее инновационной технологии для повышения срока службы деталей машин и оснастки, является основным актуальным решением вопросов. Сложность решение этого вопроса состоит в том, что недостаточности вооруженности работников химической и нефтехимической промышленности современными технологией для качественного изготовления деталей машин и приборов, к которому рекомендован обоснованных теорией и технологией выполняемых на простых оборудованьях и оснастках в других машиностроительных производствах, метод обработки пластической деформирования поверхностей изготавливаемых деталей из черных и цветных металлов.

Многочисленные ученые в своих научных работах описывали о том, что для изучения природы деформируемость металла необходим диалектический подход.

В настоящее время в химической и нефтехимической промышленности

большее распространение получили компрессоры поршневого типа. Детали компрессоров обладают общими свойствами – являются системами, нагруженными знакопеременными нагрузками. Штоки компрессоров относятся к числу работающих наиболее напряженных деталей, испытывающих длительный период повторно-переменными нагрузками, в результате чего они разрушаются и изнашиваются при работе. Как показывает статистика, около 80% поломок и аварий (отказы) происходящих при эксплуатации машин - компрессоров, усталостными явлениями и низкой устойчивостью на износ. Циклическая прочность на износу трущихся поверхностей деталей во многом зависит от состояния поверхности, полученной механической обработкой. Механическая обработка резанием, вызывающая пластические сдвиги, задиры в поверхностном слое, резко снижает предел выносливости к износу, а, следовательно, и срок эксплуатации.

Одним из главных задач для повышения циклической прочности и устойчивости к износу является механическая обработка на основе пластической деформации.

В решениях высшее стоящих органов республики Узбекистан подчеркнуто, что и в дальнейшем необходимо, повышения интенсивности развития социальную инфраструктуру всех видов хозяйств, энергично внедрять инновационных технологию с включением методов обработки на финише формирования поверхности, направленные на повышению качественных показателей рабочих поверхностей деталей машин и приборов.

Таким образом, для решения высшее указанных проблем, ставится задачи по совершенствованию технологию для изготовления деталей компрессорного оборудования, провести широком масштабе исследования с применением метода поверхностного деформирования для повышения долговечности деталей компрессорного оборудования, разработать технологическую документацию на промышленного применения.

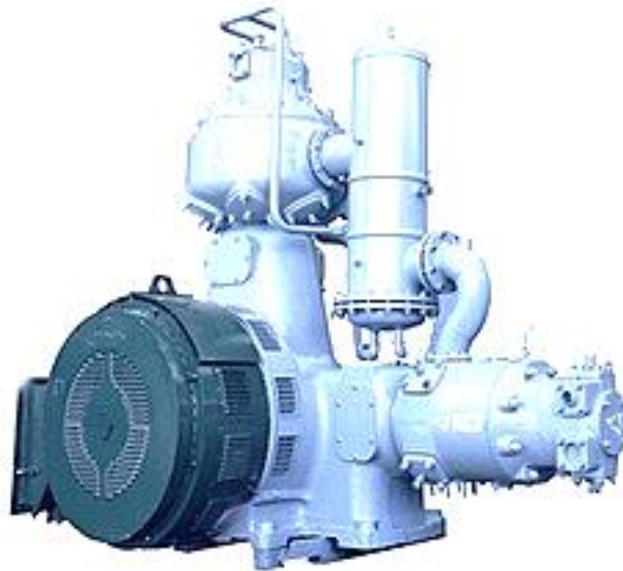
По результатам анализа литературных данных поставлена задача исследования по повышению коррозионной износостойкости трущихся поверхностей штоков компрессорного оборудования. Для проведения экспериментальных исследований использован аппарат математической статистики и метода планирования и обработки результатов. Эксперименты проводились на образцах деталей цилиндрической формы в лаборатории кафедры «ТМС и А».

Приведены результаты экспериментальных исследований и рекомендации по повышению долговечности деталей (гильз и штока) компрессорных оборудования химического и нефтехимического промышленности, установлена микротвёрдость поверхностного слоя и вид неровностей (микроволнистость) с целью повышения коррозионной стойкости и износостойкости. Микротвёрдость поверхностного слоя деталей (гильз и штока) методом «Шора».

## ГЛАВА 1. КОМПРЕССОРЫ

### 1.1. Общее понятие о компрессорного оборудования

**Компрессор** (от латини, compressio – сжатие) – энергетическая машина или техническое устройство для повышения давления и перемещения газа или смесей газов (рабочей среды).



**Рис. 1. Компрессор 305ВП-16/70**

### 1.2. Принцип работы компрессора

Компрессор имеет входную камеру, рабочую полость и выходную камеру. Газ из входного патрубка попадает в рабочую полость в которой происходят повышение давление газа за счет преобразования энергии, затем выводится в выходную камеру и попадает в выходной патрубок. К выходному патрубку присоединена сеть на которую работает компрессор. К компрессору подводится энергия которая используются для повышения давления газа за счет взаимодействия последнего с подвижной частью компрессора.

К валу компрессора имеющего механический принцип действия подводится механическая энергия (крутящий момент) от привода, которая в результате силового взаимодействия рабочую полости подвижной части



компрессора и газа преобразуется в кинетическую энергию, а затем во внутреннюю энергию газа.

В процессе повышения давления рабочей среды от начального до конечного (упрощенно политропный процесс) часть энергии преобразуется в тепло, что приводит к повышению конечной температуры рабочей среды.

Состав газа существенно влияет на параметры компрессора за счет своих термодинамических свойств описываемых уравнением состояния газа.

### **1.3. Разновидности конструкций компрессоров**

Компрессоры имеют большое разнообразие конструкций, отличаются по давлению и производительности, составу рабочей среды. По принципу действия компрессоры классифицируются на:

- объёмного действия;
- динамического действия.

#### **Основные параметры компрессора**

- *Начальное давление компрессора (секции, ступени)* – давление газа на входе в компрессор (секцию, ступени):
- *Конечное давление компрессора (секции, ступени)* – давление газа на выходе из компрессора (секции, ступени).
- *Отношение давлений в компрессоре (секции, ступени)* – отношение конечного давления газа в компрессоре (секции, ступени) к начальному.
- *Повышение давления в компрессоре (секции, ступени)* – разность между конечным давлением газа в компрессоре (секции, ступени) и начальным.
- *Начальная температура компрессора (секции, ступени)* – температура газа на входе в компрессор (секцию, ступень).
- *Конечная температура компрессора (секции, ступени)* – температура газа на выходе из компрессора (секции, ступени).
- *Объемная производительность компрессора (секции, ступени)* – объемный расход газа на выходе из компрессора (секции, ступени).

- *Массовая производительность компрессора (секции, ступени)* – массовый расход газа на выходе из компрессора (секции, ступени).
- *Внутренняя мощность компрессора (секции, ступени)* – мощность, затрачиваемая в компрессоре (секции, ступени) на сжатие газа, за вычетом мощности утечек.
- *Мощность утечек компрессора* – мощность, теряемая в результате утечек из компрессора.
- *Механическая мощность компрессора* – мощность, затрачиваемая на преодоление механического трения в компрессоре.
- *Мощность компрессора* – сумма внутренней мощности, мощности утечек и механической мощности компрессора.
- *Вспомогательная мощность компрессора* – мощность, затрачиваемая на привод вспомогательных механизмов и дополнительных устройств от вала компрессора (напр. маслонасос, вентилятор и пр.).
- *Мощность на валу компрессора* – сумма мощности компрессора и вспомогательной мощности компрессора. Это мощность, потребляемая компрессором с муфты привода.
- *Мощность на валу приводного двигателя* – сумма мощности на валу компрессора и мощности, теряемой в устройствах передачи движения от приводного двигателя к компрессору.
- *Удельная мощность компрессора* – отношение мощности на валу приводного двигателя к объемной производительности компрессора, приведенной к начальным условиям состояния газа.
- *Политропный КПД компрессора* – отношение политропной мощности компрессора к мощности на валу компрессора.
- *Изотермный КПД компрессора* – отношение изотермной мощности компрессора к мощности на валу компрессора.
- *Механический КПД компрессора* – отношение суммы внутренней мощности компрессора и мощности утечек к мощности на валу компрессора.

## 1.4. Компрессоры объёмного действия

Компрессорный агрегат для перекачки паровой фазы сжиженного нефтяного газа.

В объёмных компрессорах процесс сжатия осуществляется в рабочих камерах, периодически изменяющих свой объем и попеременно сообщающихся со входом и выходом компрессора. Механическая основа подобных компрессоров может быть весьма различна: компрессоры могут быть поршневыми, спиральными и роторными. Роторные компрессоры, в свою очередь, бывают кулачковые, винтовые и шиберные. Также возможны прочие уникальные конструкции. В любом случае идея перекачки основана на попеременном заполнении газом некоего объёма с последующим вытеснением его далее. Производительность объёмных компрессоров определяется количеством перекачанных порций за любой интересующий период времени и линейно зависит от частоты рабочих ходов. Основное применение – накачка газа в любые ресиверы и хранилища.

### 1.4.1. Поршневой компрессор

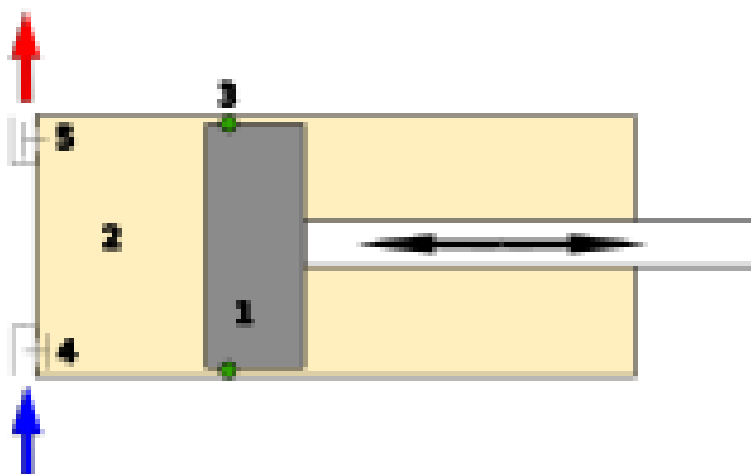


Рис. 2. Схема поршневого компрессора.

Компрессор, в котором сжатие газа происходит за счет возвратно-поступательного перемещения поршня в цилиндре по двухтактному принципу впуск/выпуск, засасывание газа происходит при движении поршня к нижней

мёртвой точке, а вытеснение при движении поршня к верхней мёртвой точке. Газораспределение обычно обеспечивается парой лепестковых клапанов, срабатывающих от перепада давления. Возможны конструкции компрессоров с коленвалом и крейцкопфные. При некоторой схожести подобных компрессоров с двухтактным двигателем важное отличие здесь в том, что компрессор не сжимает объём воздуха в цилиндре.

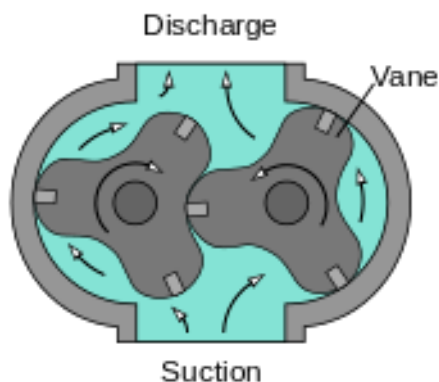
### 1.4.2. Спиральный компрессор



**Рис. 3. Принципиальная схем спирального компрессора.**

Спиральный компрессор относится к компрессоров объёмного типа, в котором перемещение объёма газа или жидкости происходит посредством взаимодействия двух спиралей, одна из которых неподвижна (статор), а другая совершает эксцентрические движения без вращения, благодаря чему и обеспечивается перенос газа или жидкость из полости всасывания в полость нагнетания.

### 1.4.3. Кулачковый компрессор



**Рис. 4. Кулачкового компрессора.**

Роторный компрессор объёмного типа, в котором перемещение объёма газа происходит посредством бесконтактного взаимодействия двух синхронно вращающихся кулачковых роторов в специально профилированном корпусе (статоре), при этом перенос газа из полости всасывания в полость нагнетания происходит перпендикулярно осям роторов.

#### 1.4.4. Винтовой компрессор

Винтовой компрессор: устройство, принцип работы, разновидности, преимущества, особенности эксплуатации.



Рис. 5. Общее вид винтового компрессора.

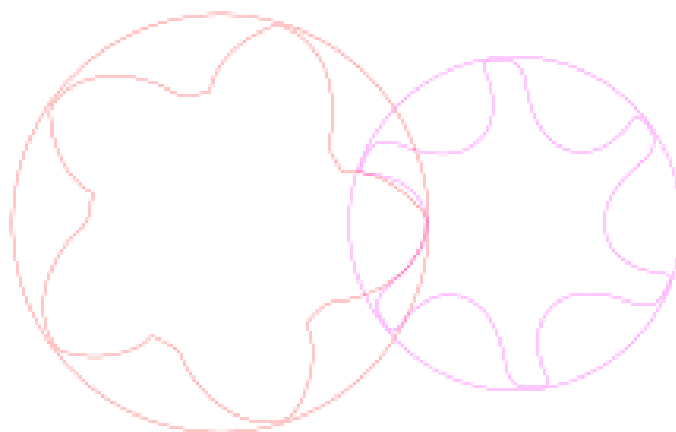


Рис. 6. Профиль винтов винтового компрессора.

Винтовым называется компрессор, понижение давления в котором достигается за счет вращения двух винтов (роторов). По конструкции такие устройства принадлежат к ротационному компрессорному оборудованию. Впервые винтовая модель была запатентована в 1934 г. На сегодня агрегаты данного типа являются наиболее распространенными в своем сегменте. Этому способствует их относительно небольшая масса и компактные габариты, надежность, способность функционировать в автономном режиме, экономичность в плане потребления электроэнергии и затрат на обслуживание. Невысокий уровень вибрации позволяет монтировать такие системы без обустройства специального фундамента, как в случае с поршневыми аналогами. В ряде направлений (судовые рефрижераторы, мобильные компрессорные станции и т. п.) роторные модели практически полностью вытеснили компрессоры других разновидностей. Такие устройства могут подавать воздух, сжатый до 15 атм., и обладать производительностью 1–100 м<sup>3</sup>/мин.

### **1.5. Преимущества винтовых компрессоров**

По сравнению с центробежными и поршневыми моделями, устройства описываемого типа имеют следующие базовые преимущества (см. рис. 7).

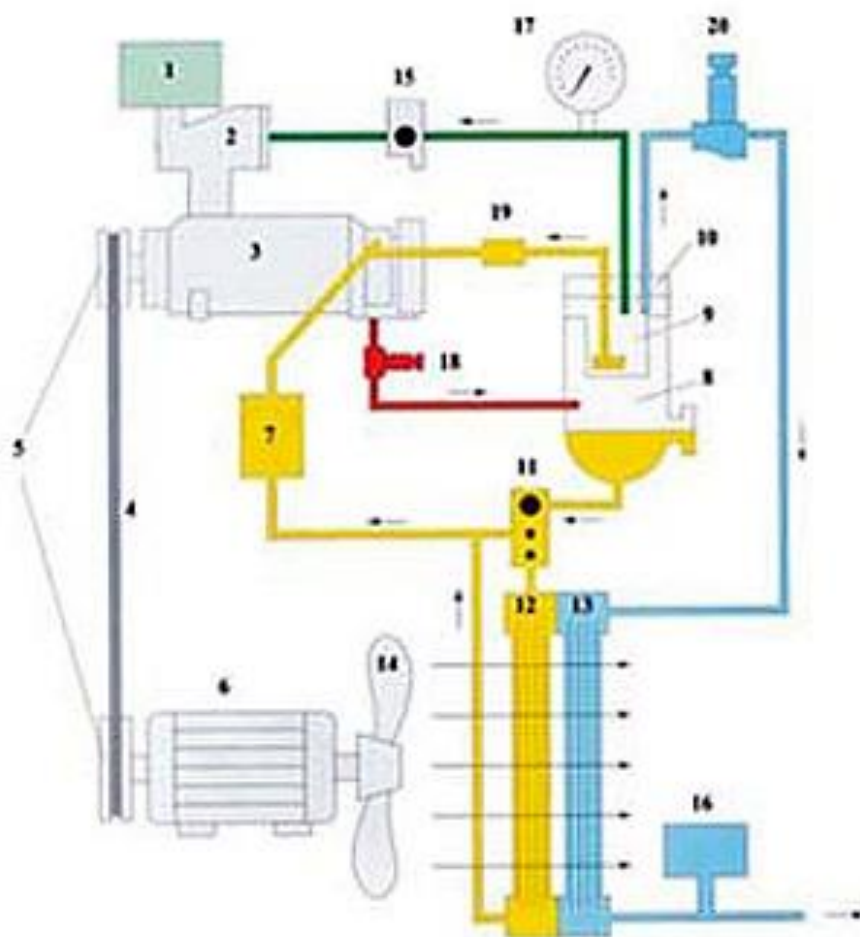
1. Крайне низкий (порядка 2–3 мг/м<sup>3</sup>) расход масла, что в разы меньше, чем у крупных поршневых моделей с лубрикаторной смазкой. Следовательно, воздух, подаваемый посредством винтовых агрегатов, будет намного качественнее и чище. Его можно применять для питания новейшего пневматического оборудования без установки фильтров дополнительной очистки.

2. Пониженный уровень вибрации и шума (у некоторых моделей – соразмерный с шумностью бытовой техники). С учетом небольшого веса и габаритов это позволяет устанавливать описываемые устройства без специального фундамента непосредственно на производствах, где потребляется сжатый воздух, а также оснащать ими разноплановые мобильные комплексы.

3. Наличие воздушного охлаждения. Во-первых, это устраняет необходимость устанавливать системы обратного водоснабжения. Во-вторых, появляется возможность вторично использовать тепло, которое выделяется в результате функционирования компрессора, к примеру, для обогрева помещений.

4. Надежность работы, безопасность и простота эксплуатации, способность длительное время функционировать без обслуживания. Это становится возможным благодаря наличию автоматических систем, посредством которых осуществляется управление и контроль над работой агрегата.

### Устройство винтового компрессора



**Рис. 7. Схема устройства винтового компрессора**

Стандартная модель винтового компрессора состоит из следующих элементов:

1. **Фильтр**, необходимый для очищения воздуха, поступающего в агрегат. Обычно состоит из первичного фильтра, монтируемого непосредственно на корпус в месте забора воздушных масс из атмосферы, и вторичного, который устанавливается перед клапаном 2.

2. **Всасывающий клапан**. Позволяет предотвратить выброс масла и сжатого воздуха из компрессора в момент остановки последнего. Работает на пневматическом управлении. По конструкции представляет собой обычный подпружиненный клапан. Некоторые устройства оснащены аналогами пропорционального типа.

3. **Винтовой блок**. Представляет собой основную рабочую часть агрегата. Состоит из двух винтов (роторов), изготовленных посредством высокоточной механической обработки и помещенных в корпус. Самый дорогой элемент устройства. Роторная пара оснащена датчиком термозащиты, вмонтированным возле патрубка 18. Данный контроллер выключает мотор, если температура на выходе роторов превысит отметку в 105 °С.

4. **Ременной привод** (высокомощные модели оснащены прямой муфтовой передачей или редукторами). Задает скорость, с которой вращаются винты. Представляет собой 2 шкива, один из которых установлен на роторной паре, другой – на двигателе. Чем больше скорость, тем выше производительность компрессора, однако максимальное давление (рабочее) при этом снижается.

5. **Шкивы**, размер которых задает скорость оборотов винтовой пары 4.

6. **Двигатель**. Вращает роторы 4 посредством ременной передачи (в более новых моделях – муфты или редуктора). Оснащен датчиком термозащиты, который отключает мотор от сети при достижении максимально допустимых значений потребляемого электротока. Вместе с датчиком, описанным в пункте 3, обеспечивает безопасность функционирования устройства и защищает его от возникновения аварийных ситуаций.

7. **Масляный фильтр**. Он очищает масло перед его возвратом в роторы.



8. **Маслоотделитель первичной очистки.** Здесь воздух освобождается от масла под действием центробежной силы (поток закручивается, вследствие чего и отделяются частицы).

9. **Масло - отделительный фильтр.** Обеспечивает второй этап очистки. Такой комплексный подход позволяет минимизировать остаточные масляные пары на выходе до 1,3 мг/м<sup>3</sup>, что является недостижимым значением для поршневых агрегатов.

10. **Предохранительный клапан.** Необходим для обеспечения безопасности. Клапан срабатывает, если давление в маслоотделителе превысит допустимый лимит.

11. **Термостат,** обеспечивающий нужный температурный режим. Пропускает масляный состав, не разогретый до 72 °С, мимо охлаждающего радиатора 9. Это позволяет ускорить достижение оптимальной температуры.

12. **Маслоохладитель.** После отделения от сжатого воздуха горячее масло попадает в данный резервуар, где охлаждается до нужной температуры.

13. **Воздухоохладитель.** Перед подачей потребителю сжатый воздух охлаждается здесь до температуры, которая будет выше на 15–20 °С, чем окружающая среда.

14. **Вентилятор.** Осуществляет забор воздуха, охлаждает рабочие элементы.

15. **Клапан холостого хода (электропневматический).** Управляет функционированием всасывающего клапана 2.

16. **Реле давления.** Обеспечивает работу агрегата в автоматическом режиме. В новых компрессорах реле заменено электронной системой управления.

17. **Манометр.** Находится на лицевой панели, показывает давление внутри компрессора.

18. **Выходной патрубок.**

19. Прозрачное цилиндрическое утолщение на трубке, необходимое для визуального контроля над процессом возврата масла.

20. **Клапан минимального давления.** Пока последнее не превышает 4 бар, он всегда будет закрытым. Также данный элемент выполняет функцию обратного клапана, поскольку отделяет пневмолинию и компрессор при остановке последнего или работе в холостом режиме.

Устройство помещено в корпус, который обычно изготавливается из стали. Он покрывается негорючим звукопоглощающим составом, устойчивым к маслу и прочим сходным веществам. Это конструкция наиболее распространенной модификации. В зависимости от модели и производителя схема и комплектация роторного компрессора может варьироваться.

### Принцип действия компрессора

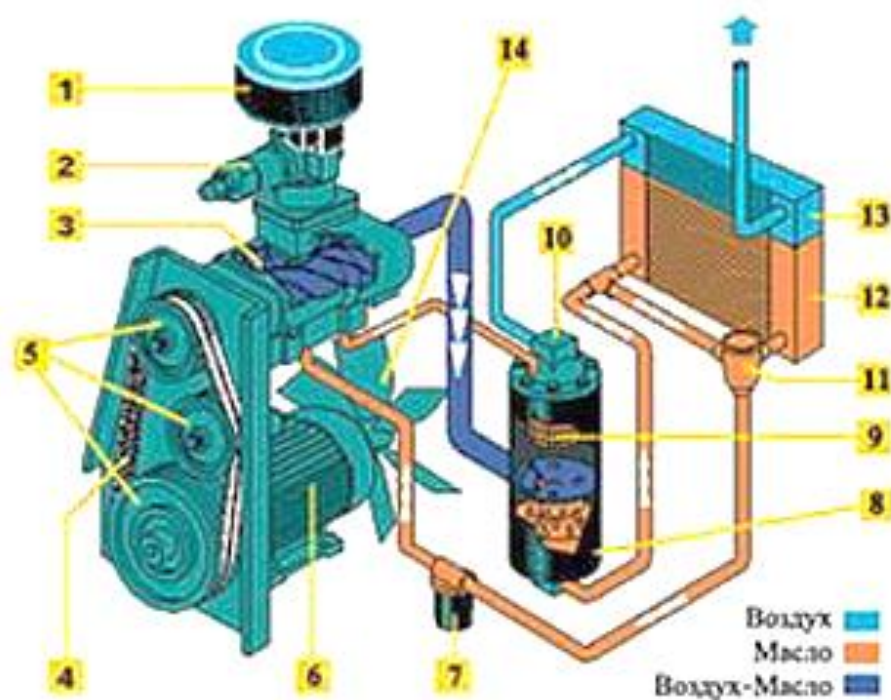


Рис. 8. Принципиальная схема компрессора

Через клапан 2 воздух из атмосферы, очищенный посредством фильтров 1, попадает в роторную пару 3. Здесь он смешивается с маслом. Последнее подается в резервуар сжатия для выполнения следующих задач.

1. Уплотнить зазоры между винтами 3 и корпусом 16, а также между полостями роторов. Это позволяет минимизировать переточки и утечки.
2. Устранить касание винтов, обеспечив масляный клин между ними.
3. Отводить тепло, которое индуцируется в процессе сжатия воздуха.

Сжатая в блоке 3 воздушно-масляная смесь подается в маслоотделитель 7, где разделяется на составляющие. Отсепарированное масло очищается на фильтре 6 и возвращается в блок 3. В зависимости от температуры предварительно оно может охлаждаться в радиаторе 9, что регулируется термостатом 8. В любом случае, масло будет циркулировать по замкнутому кругу. Воздух поступает в охлаждающий радиатор 13. После достижения нужной температуры он подается на выход компрессора.

### **1.6. Режимы работы компрессоров**

- **Пусковой (Start).** Данный режим служит для оптимизации нагрузки на электросеть в момент запуска компрессора. Включение двигателя осуществляется по схеме «звезда», а через 2 секунды (отсчитываются по таймеру, который включается в момент нажатия на кнопку Start) он переключается на схему «треугольник», что соответствует рабочему режиму. Маломощные винтовые модели работают на прямом пуске.

- **Рабочий.** В системе начинает увеличиваться давление. Для его контроля имеется 2 манометра. Первый находится на лицевой панели и показывает параметры внутри компрессора. Второй – на ресивере, он служит для контроля линии. После достижения максимально допустимого давления срабатывает соответствующее реле, в результате чего агрегат переходит на холостой ход из рабочего режима.

- **Холостой ход.** Двигатель и роторы вращаются, перемещая газ по внутреннему контуру. Это необходимо для охлаждения воздушных масс. Данный режим служит для перевода компрессора в состояние ожидания или выступает в качестве подготовки перед полным выключением. В поршневых

моделях холостого хода нет. Детальное описание работы устройства на таком режиме выглядит следующим образом. Реле 16 дает команду, запускающую пневмоклапан холостого хода и временное реле. Параметры последнего можно настроить. Пневмоклапан открывает канал между фильтром маслоотделителя 9 и всасывающим клапаном 2, вследствие чего давление внутри компрессора начинает снижаться с такой скоростью, чтобы достичь минимальной отметки (2,5 бар) в течение установленного времени. Это позволяет остановить двигатель без выброса масла в область фильтра 1. По истечении указанного периода реле времени дает команду отключить мотор. Система переходит в состояние ожидания. Если сжатие достигло минимальной величины раньше, чем сработало временное реле, снова включается рабочий ритм.

- **Ожидание.** Продолжается, пока рабочее давление не опустится ниже минимальной отметки, после чего реле 16 вновь запускает механизм. Длительность данного режима зависит от скорости расходования воздуха.

- **Стоп (Stop).** Служит для штатного выключения агрегата. Если при этом компрессор находился в рабочем ритме, он на некоторое время перейдет на холостой ход и только после этого отключится.

- **Alarm-stop** – экстренное выключение. Соответствующая кнопка находится на панели управления. Режим используется в случаях, если понадобилось срочно остановить двигатель. Агрегат выключается сразу, без промежуточного перехода на холостые обороты.

### 1.7. Разновидности винтовых компрессоров

**Маслозаполненные.** Один ротор в них является ведущим, второй – ведомым. Физический контакт между данными элементами предотвращается посредством впрыскиваемого масла (на 1 кВт мощности устройства подается 1 л/мин). Шумность работы подобного оборудования находится на уровне шума от бытовой техники – 60–80 Дб (при условии использования звукопоглощающих кожухов). Мощность двигателей может варьироваться в

пределах 3–355 кВт, а объемные расходы – 0,4-54 м<sup>3</sup>/мин. Такое оборудование можно устанавливать непосредственно в рабочих цехах.

**Безмасляные.** Они делятся на два подвида;

- **компрессоры винтовые сухого сжатия.** Оснащены синхронными электромоторами, которые приводят в движение оба винта, исключая контакт между ними. Они менее производительны по сравнению с моделями маслозаполненного типа. Из-за отсутствия масла нет и отвода тепла. Поэтому уровень сжатия достигает лишь 3,5 бар в одной ступени. Данный показатель можно поднять до 10 бар, если использовать вторую ступень и промежуточный рефрижератор. Но это, как и применение двух электромоторов вместо одного, увеличивает стоимость устройства.

- **водозаполненные компрессоры.** Самая технологичная модель, сочетающая все достоинства безмасляных и маслозаполненных вариантов. Водозаполненные агрегаты отличаются оптимальной производительностью и позволяют достигать сжатия 13 бар в одной ступени. Важным преимуществом подобных моделей является их экологичность, ведь традиционное компрессорное масло заменено на чистую, натуральную и не такую дорогостоящую воду. При этом обеспечивается внутреннее охлаждение. Вода обладает высокой удельной теплопроводностью и теплоемкостью. Вне зависимости от уровня конечного сжатия температура в ходе данного процесса повышается максимум на 12°С. Этому способствует в том числе применение дозированного впрыска. Тепловая нагрузка на элементы устройства минимальна, следовательно, возрастает срок службы, надежность и безопасность агрегата в целом. Сжатый воздух не нуждается в дополнительном охлаждении. Циркулирующая в системе вода охлаждается до температуры окружающей среды. А влага, имеющаяся в сжатых воздушных массах, конденсируется и вновь возвращается в контур. В маслозаполненных моделях именно конденсат был загрязняющим веществом. Здесь же он используется в циркуляционном контуре за несколько часов (при нормальных условиях и

непрерывной эксплуатации устройства). Следовательно, накопление отходов на станции практически нивелируется. Еще одно значимое достоинство водозаполненных компрессоров – возможность снизить на 20 % энергозатраты. Процесс сжатия в подобных устройствах приближается к идеальному изотермическому. Изготовление устройства обходится дешевле за счет отсутствия масляных фильтров, емкостей для отработанной масляной жидкости. Не приходится нести издержки и на переработку конденсата.

Безмаслянные модели используются в различных областях, но самые популярные сферы применения – пищевая, фармацевтическая и химическая промышленности.

*Почему выгодно перейти на винтовое компрессорное оборудование?*



**Рис. 9. Общий вид винтового компрессорного оборудование**

Как отмечалось выше, роторные модели постепенно вытесняют поршневые и центробежные варианты. Многие предприятия переходят именно на такие агрегаты, считая их более надежными, совершенными и экономичными. При этом стоимость роторных устройств выше, чем поршневых аналогов. Да и на замену оборудования (если речь идет именно о модернизации системы, а не о сборке новой установки) необходимо потратить определенную сумму. Разберемся более детально, в чем именно заключается выгода для предпринимателей, проведя сравнение винтовых и поршневых моделей. Но для

начала необходимо понять, из каких статей расходов формируется стоимость любого компрессора. Окончательная сумма включает в себя следующие затраты.

1. Приобретение агрегата.
2. Оплата монтажных работ.
3. Покупка расходных материалов.
4. Оплата электроэнергии, потребляемой устройством.
5. Ремонтные расходы.
6. Покупка дополнительного оборудования. Например, это может быть очистительный комплекс для сжатого воздуха.

### **1.7.1. Расходы на приобретение агрегата**

В этом плане более выгодными являются поршневые модели, цена которых на 20 – 40 % ниже стоимости винтовых аналогов. В то же время, это средства, затрачиваемые непосредственно на покупку оборудования. Но ведь его необходимо еще и установить. Поршневые модели имеют более значительные габариты и массу, в процессе работы они ощутимо вибрируют, поэтому нуждаются в обустройстве специального фундамента. Это существенно увеличивает стоимость монтажа. Если сравнивать общую сумму, которую необходимо потратить на покупку оборудования и его установку, то более выгодными оказываются именно роторные варианты.

### **1.7.2. Расходы на электроэнергию**

КПД роторных компрессоров существенно больше. И чем выше производительность агрегата, тем более заметной будет эта разница. Имеет значение и тип устройства. Например, водозаполненные модели обеспечивают более высокую экономию энергоресурсов. Но даже маслозаполненные варианты низкой производительности, оснащенные традиционной схемой управления, на протяжении эксплуатационного периода несколько раз окупают



свою стоимость за счет одной только экономии электричества. По критерию энергозатрат на генерирование одинакового объема сжатого воздуха поршневые агрегаты заметно проигрывают.

Некоторые винтовые модели позволяют еще больше увеличить экономию энергоресурсов. Речь идет о двухступенчатых агрегатах и устройствах с изменяемой частотой оборотов мотора. Подобное оборудование дает дополнительную экономию на 30%. Важно и то, что имеется возможность регулировать производительность агрегата. Другими словами, компрессор будет генерировать столько сжатого воздуха, сколько потребляет оборудование в каждый конкретный момент. При таком режиме работы не возникнет ни переизбытка, ни дефицита. Оборудование будет функционировать с нужной производительностью, затрачивая энергоресурсы только на полезную работу.

### **1.7.3. Расходы на обслуживание и ремонт**

Поршневые компрессоры нуждаются в регулярной замене колец поршней, клапанов, вкладышей и прочих элементов механизма. Роторные модели полностью избавляют пользователя от подобных проблем. В их механизме нет быстро изнашивающихся элементов. Потребность в ремонте возникает гораздо реже, а плановое обслуживание обходится гораздо дешевле. При соблюдении инструкции по эксплуатации такой агрегат способен прослужить около 20 лет, работая без ремонта в трехсменном режиме.

Удешевление обслуживания происходит еще и потому, что пропадает необходимость в постоянном присутствии рядом с оборудованием обслуживающего персонала. Роторные модели оснащены защитой, предотвращающей возникновение аварийных ситуаций. Например, оборудование отключается при перегреве или пиковых значениях электрического тока и способно работать в полностью автономном режиме.

В отличие от поршневых моделей, роторные аналоги поддерживают возможность комплектации блоками электронного управления, которые



позволяют на программном уровне задать параметры функционирования агрегата на несколько недель вперед. Посредством электронного блока можно управлять и группой из нескольких механизмов, останавливая или запуская некоторые из них в зависимости от производственных потребностей в сжатом воздухе. Таким образом, комплекс функционирует с максимальной продуктивностью и без перерасхода ресурсов.

#### **1.7.4. Покупка расходных материалов**

Винтовые компрессоры имеют более эффективную систему маслоотделения, которая позволяет существенно снизить количество масляных фракций, смешивающихся со сжатым воздухом. Если уменьшается объем затрат основного расходного вещества, то снижается и стоимость его приобретения. Подобные агрегаты имеют более совершенную конструкцию (если сравнивать с поршневыми аналогами), которая позволяет установить современные СОЖ. Последние способны в несколько раз сократить частоту замены масляного состава.

#### **1.7.5. Приобретение дополнительного оборудования**

Поскольку в винтовых моделях масляные фракции отделяются эффективнее, нет необходимости покупать дополнительные комплексы очистки. А если сделать выбор в пользу более дешевого поршневого агрегата, придется приобрести еще и ресивер, который гасит возникающие в пневматической системе пульсации давления. Роторные аналоги не генерируют подобные пульсации. В большинстве случаев это позволяет избежать покупки дополнительных ресиверов.

Шумность работы винтовых агрегатов значительно ниже, чем у поршневых устройств. Посредством установки шумопогашающих кожухов можно еще сильнее снизить уровень звука и вибрацию, возникающие при функционировании компрессорного оборудования. Это позволяет монтировать

его прямо в цехах, куда подается сжатый газ. Чем короче расстояние, на которое перемещается воздух, тем меньше появляется в нем конденсированной влаги и твердых фракций, которые способны серьезно навредить производственному превмооснащению.

Децентрализация компрессорного оборудования данного типа позволяет запускать только те единицы, которые понадобились в конкретный момент времени для обеспечения производства сжатым газом в необходимых объемах. Следует упомянуть и дополнительную выгоду, которая заключается в возможности задействования генерируемого компрессором тепла для нужд предприятия. Зачастую оно используется для отопления цехов.

### **Резюме**

Роторные модели уступают поршневым аналогам равной производительности только по стоимости покупки. По всем остальным статьям (затраты на ремонт, закупку дополнительного оснащения и расходных материалов, оплату потребляемой энергии и работу обслуживающего персонала) они гораздо выгоднее и несколько раз окупают себя за эксплуатационный период.

Таким образом, покупка винтового компрессорного оборудования – экономически оправданное и выгодное для предприятия решение.

## **1.8. Роторные компрессоры**

### **Модели с частотным приводом**

В середине 1990 гг. были созданы роторные компрессоры, оснащенные частотным приводом. Появление такого оборудования стало большим шагом к развитию и внедрению энергосберегающих технологий на производстве. Стоимость энергоресурсов постоянно увеличивается. Закономерно, что предприятия при модернизации своих мощностей стараются подобрать максимально экономичные варианты для замены устаревшего оснащения. И их выбор часто останавливается именно на роторных агрегатах с частотным

приводом. Кроме надежности работы и способности функционировать в автономном режиме подобные агрегаты позволяют существенно оптимизировать энергозатраты.

### **1.8.1. Особенности конструкции и эксплуатации частотных приводов**

Привод данного типа состоит из частотного преобразователя и асинхронного мотора. Последний преобразует электричество в механическую энергию, приводя в движение роторную пару. Частотный преобразователь служит для управления мотором. Он модифицирует переменный электроток одной частоты в переменный ток другой частоты.

В технической литературе чаще встречается термин «частотно-регулируемый электропривод». Подобное название обусловлено тем, что регулировка скорости оборотов мотора осуществляется посредством вариации частоты питающего напряжения, которое подается частотным преобразователем на двигатель. На сегодня подобные приводы широко применяются в различных сферах промышленности. Например, они задействованы в насосах, обеспечивающих дополнительную подкачку жидкости для сетей тепло- и водоснабжения.

### **1.8.2. Компрессорное оборудование с частотным приводом**

Оснащение такого оборудования частотными приводами позволило получить агрегаты, обладающие рядом значимых достоинств по сравнению с простыми винтовыми моделями.

Плавный запуск. При включении обычного асинхронного электромотора возникают пусковые токи, превышающие номинальные в более чем 4 раза. Это провоцирует возникновение перегрузки в сети и накладывает ограничения на количество включений компрессорного оборудования в течение часа. Аналог с двигателем, оснащенный частотным преобразователем, запускается плавно, не провоцируя перегрузок в сети. Число пусковых операций у него будет меньше.

Способность поддерживать постоянное давление с высокой (до 0,1 бар) точностью, немедленное реагирование на все скачки данного параметра в сети. Каждый дополнительный бар нагнетания – это 6–8-процентное увеличение энергопотребления оборудования.

Обеспечение точного соответствия производительности компрессора и реальной потребности подключенного к нему оборудования в сжатом газе. Это позволяет минимизировать количество переходов агрегата в режим холостых оборотов. А ведь именно в моменты подобных переходов асинхронный электромотор обычной модели потребляет до 1/4 собственной номинальной мощности.

Посредством несложных расчетов получаем, что модель с частотным приводом за пятилетний период эксплуатации позволяет сэкономить до 25 % электроэнергии по сравнению с роторными моделями без частотного преобразователя. Некоторые производители обещают, что их оборудование способно дать экономию до 35 % ресурсов.

### **1.8.3. Другие способы оптимизации энергозатрат**

На практике эффективность работы оборудования напрямую зависит от режима его функционирования. Нередко встречаются случаи, когда производители завышают показатели экономичности своего оборудования или в рекламных целях предоставляют неполную информацию. Пользователи компрессорных установок должны знать, что существуют и другие способы оптимизации энергозатрат, которые часто более просты и экономически выгодны. В качестве примера можно привести децентрализованный комплекс обеспечения сжатым газом. Он предусматривает установку нескольких компрессоров небольшой мощности вместо одного мощного агрегата, не всегда работающего на полную силу. Каждая единица подбирается в зависимости от объемов воздухопотребления конкретного оборудования. Поскольку не все

производственные мощности могут быть задействованы в один момент времени, компрессорные агрегаты подключаются по мере необходимости.

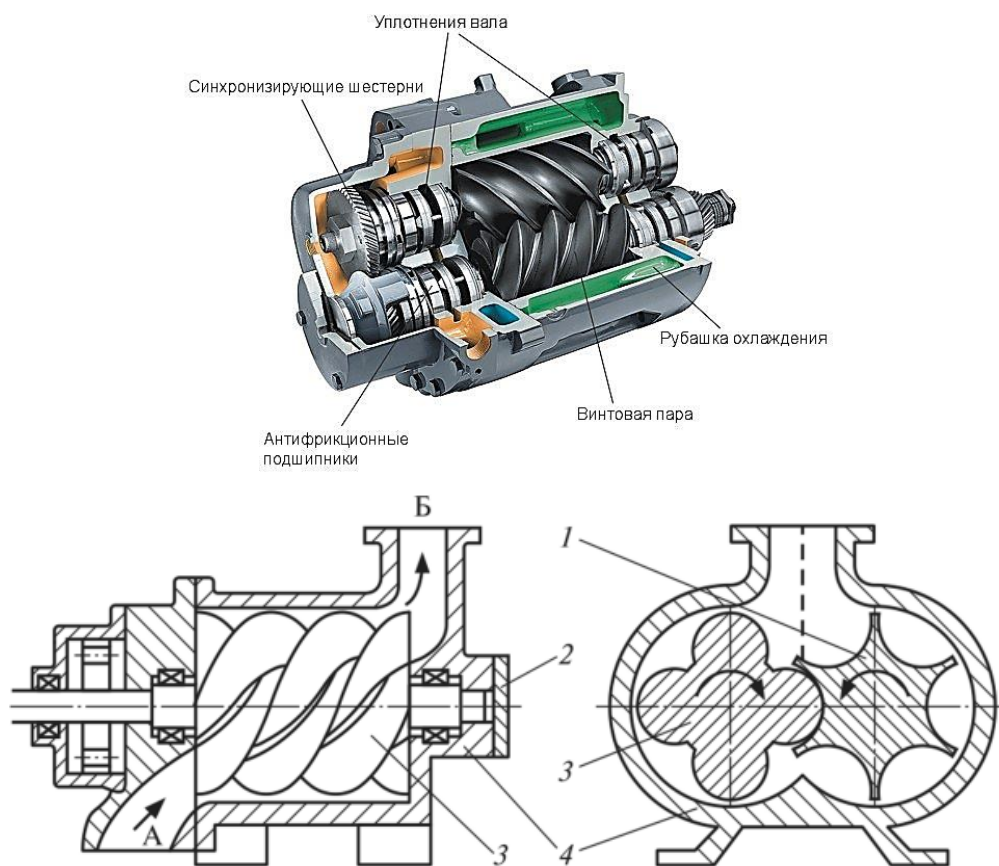
Альтернативный вариант предусматривает монтаж нескольких винтовых моделей в единую сеть, которая оснащается одним пультом управления. Такая станция работает на 100 % своей мощности при пиковой нагрузке в сети. Как только потребность в сжатом газе снижается, ненужные мощности отключаются.

Кроме экономии энергоресурсов подобные мульти-компрессорные группы позволяют создать энергетический резерв. Если одна из единиц выйдет из строя, комплекс продолжит функционировать. Потеря мощности будет незначительной. Например, если в сеть входит 4 агрегата, то поломка одного из них снизит суммарную производительность только на 1/4.

Если же на предприятии будет установлен всего один, хоть и высокомощный агрегат, то его внезапная поломка может привести к полной остановке производственного цикла со всеми вытекающими убытками от простоя.

В настоящий момент степень изношенности компрессорного оборудования на многих предприятиях достиг критического уровня. Вопрос модернизации устройств подачи сжатого газа является очень актуальным. Надеемся, что данная статья поможет вам определиться с выбором компрессора, удовлетворяющего производственным потребностям вашего предприятия и современным требованиям к энергоэффективности, безопасности и надежности оборудования.

Схематическое изображение винтового блока воздушного компрессора приложена на рис. 10.



**Рис. 10. Схематическое изображение винтового блока воздушного компрессора**

В 1932 году шведский инженер Линсхольм смог реализовать идею винтового компрессора в жизнь. Принцип работы такого компрессора заключался в том, что воздух нагнетали два винта. Сжатие воздуха происходило в пространстве между витками винтовой пары и стенками внешнего корпуса, поэтому все внутренние элементы камеры винтового компрессора имели максимальную точность. Это были «безмасляные» компрессоры, то есть воздух сжимался в камере сжатия «всухую».

Первые винтовые компрессоры потребовались для постоянной подачи сжатого воздуха в большом объеме при бурении. Размер первых винтовых компрессоров был соизмерим с ростом человека. Значительный толчок в развитии винтовой технологии был получен в 1950-х годах, когда был сконструирован «маслозаполненный» компрессор с подачей масла в камеру

сжатия, такое техническое решение позволило эффективно отводить тепло из камеры сжатия, что в свою очередь позволило увеличить частоту вращения, следовательно, увеличить производительность и уменьшить габариты машин. Винтовые компрессоры стали доступны широкому рынку потребителей. Подача масла в камеру сжатия решила еще две задачи: смазка подшипников и уплотнение сжимаемой среды, что повысило КПД сжатия. С развитием смазочных материалов и систем уплотнений винтовые компрессоры заняли лидирующие позиции в промышленности для низких и средних давлений. В настоящий момент линейка винтовых компрессоров охватывает рабочий диапазон мощностей от 3 до 900 кВт.

### **1.9. Винтовой блок**

Конструкция винтового блока состоит из двух массивных винтов и корпуса. При этом винты во время работы находятся на некотором расстоянии друг от друга, и этот зазор уплотняется масляной пленкой. Трущихся элементов нет. Пыль и другие твердые частицы и даже небольшие предметы при попадании в винтовой блок не вызывают никаких повреждений и могут лишь повредить масляной системе самого компрессора.

Таким образом, ресурс винтового блока практически неограничен и достигает более чем 200 – 300 тыс. часов. Регламентной замене подлежат лишь подшипники винтового блока. В зависимости от конструкции компрессора и оборотов винтового блока, периодичность замены подшипников составляет 20 – 24 тыс. часов. Энергоэффективность и надежность работы винтового компрессора напрямую связана с периодичностью замены подшипников. При несвоевременной замене подшипников, винтовой компрессор существенно теряет в производительности и в случае поломки становится не ремонтно-пригодным. Винтовая технология работает в широком диапазоне скоростей вращения, что позволяет регулировать производительность. Позволяет использовать как стандартную систему загрузка/разгрузка/останов, так и

частотное регулирование производительности. При частотном регулировании изменяются в широком диапазоне обороты двигателя в минуту, но наиболее эффективной считается работа компрессора в узком диапазоне 50 – 75 %. При работе в диапазоне менее 50 % удельное потребление компрессора возрастает на 20 – 30 %.

## **1.10. Пластинчато-роторный компрессор**

### **Принцип работы роторно-пластинчатого компрессора**

В данной статье мы рассказываем о принципе работы роторно-пластинчатого компрессора на основе компрессоров Hydrovane HV PEAS горизонтального типа.

При включении компрессора сжатый воздух поступает через воздушный фильтр, входное отверстие в торцевой крышке блока сжатия и всасывающий клапан (А). Далее воздух поступает в блок сжатия (В).

В блоке сжатия (В) воздух сжимается за счет изменения объема камеры сжатия. Камера образуется с помощью статора, ротора и пластин, которые установлены в пазах ротора.

Масляный перепускной клапан (С) предназначен для предотвращения гидравлического удара и выброса излишков масла из камеры сжатия, которые могут остаться после остановки компрессора и, соответственно, перед его запуском.

Воздушно-масляная смесь выходит из блока сжатия (D) и двигается в его нижнюю часть. При выходе из блока сжатия масло отделяется от сжатого воздуха с помощью первичного маслоотделителя. Масло по стенкам стекает в нижнюю часть блока сжатия (масло показано красным цветом).





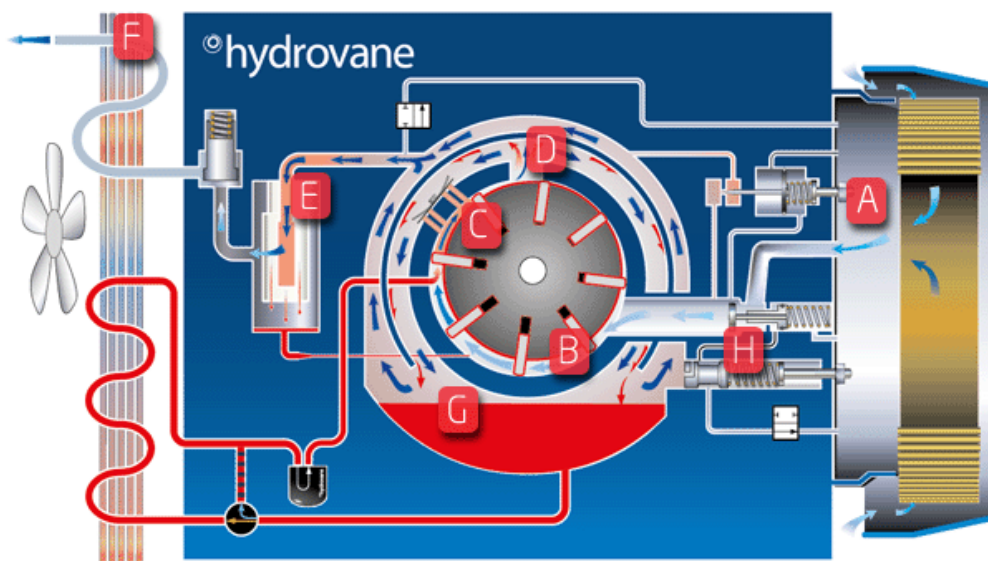
**Рис. 11. Общий вид пластинчато-роторного компрессора**

Сжатый и предварительно очищенный воздух движется в сепаратор тонкой очистки (E), где происходит финальное отделение масла из сжатого воздуха до  $3 \text{ мг/м}^3$ . Очищенный воздух проходит через клапан поддержания давления (на рисунке цифрой не обозначен) и поступает в воздушно-масляный радиатор (F), где происходит охлаждение.

Далее сжатый воздух поступает в трубопровод к потребителю.

### **Общее описание**

Роторно-пластинчатые компрессоры относятся к компрессорам объемного действия, т.е. сжатие газа происходит за счет изменения объема полости сжатия.



## **Рис. 11. Структурная схема основных элементов пластинчато-роторного компрессора**

**Схема основных элементов (см. рис. 11).**

Основные элементы роторно-пластинчатого компрессора изображены на рисунке ниже.

Роторно-пластинчатый компрессор

где:

«А» – точка входа воздуха в компрессор

«Н» – впускной клапан

«В» – блок сжатия роторно-пластинчатого компрессора

«С» – масляный перепускной клапан

«D» – узел выхода воздушно-масляной смеси из блока сжатия

«G» – масло компрессора в статоре

«Е» – сепаратор тонкой очистки сжатого воздуха от масла

«F» – воздушно-масляный радиатор для охлаждения сжатого воздуха и масла

### **1.10.1. Контуры движения воздуха и масла**

В компрессоре существует два контура движения. Это масляный контур (движение масла внутри компрессора) и воздушный контур (движение воздуха в компрессоре).

Синими стрелками изображено направление движения воздуха.

Красными стрелками изображено направление движения масла.

Контур красного цвета в нижней части рисунка – это масляный контур компрессора. В него входят термостатический клапан и масляный фильтр.

### **Циркуляция масла**

Циркуляция масла происходит за счет разности давлений в разных точках внутри блока сжатия. Имеется два круга циркуляции масла – большой и малый.

Малый круг: масло двигается минуя воздушно-масляный радиатор (F) в случае первичного запуска компрессора, когда масло еще холодное.

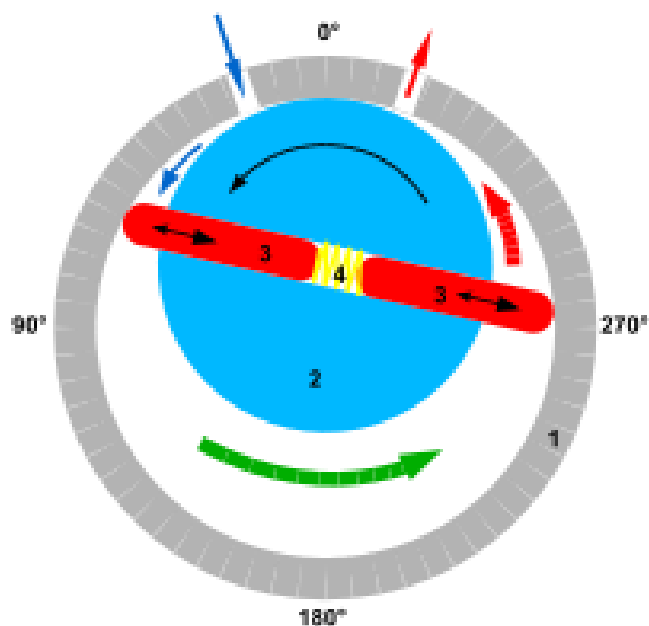
Большой круг: масло двигается через воздушно-масляный радиатор (F) в том случае, когда температура масла достигает рабочих режимов (примерно 60-65 С).

### **Для справки**

Существуют ряд компрессорное оборудование как: мембранные компрессоры для перекачки технических газов и заправки баллонов высокого давления; винтовые компрессоры CompAir; винтовые компрессоры PromAir Kompressoren; винтовые компрессоры Dali (Китай); винтовые маслозаполненные компрессоры; винтовые безмасляные компрессоры CompAir; винтовые воздушные компрессоры; винтовые электрические компрессоры; винтовые промышленные компрессоры; винтовые газовые компрессоры; роторно-пластинчатые компрессоры Hydrovane; циклонные сепараторы Hiross STH/S; фильтры сжатого воздуха Zander; рефрижераторные осушители Hiross FH; рефрижераторные осушители Hiross Quasar; рефрижераторные осушители Zander; адсорбционные осушители Zander K-MT/KE-MT; конденсатоотводчики; воздухохборники спиральные; компрессоры Reavell (CompAir); компрессоры Ковинт КСВД; мембранные компрессоры Ковинт КСВД-М; фильтры высокого давления Zander серии G; осушители высокого давления Zander HDK/HDK-MT; емкостное оборудование.

### **1.11. Шиберный насос**

Роторный компрессор объёмного типа, в котором перемещение объёма газа происходит посредством вращения ротора с набором пластин (шиберов) в цилиндрическом корпусе (статоре). Схема шиберного насоса приталена рис. 12.



**Рис. 12. Схема шибера насоса.**

Конструкция включает статор в виде полого круглого цилиндра и эксцентрично размещённый в полости статора цилиндрический ротор с продольными пазами, внутри которых помещены радиально подвижные пластины. При вращении центробежная сила выталкивает пластины из пазов и прижимает их к внутренней поверхности статора. Сжатие воздуха происходит в нескольких полостях, которые образуют статор, ротор и каждая пара смежных пластин, полости уменьшаются в объёме в направлении вращения ротора. Впуск воздуха происходит при максимальном выходе пластин из пазов и образовании разрежения в полости максимального объёма. Далее на стадии сжатия объём полости постоянно уменьшается до достижения максимального сжатия, когда пластины проходят мимо выходного канала и происходит выброс сжатого воздуха. Максимальное рабочее давление роторно-пластинчатого компрессора составляет 15 бар.

Простота и надёжность роторно-пластинчатого компрессора заключается в том, что физические законы сами по себе работают в этой конструкции, не заставляя конструктора особенно изощряться. Пластины сами выходят из пазов ротора под влиянием центробежных сил; масло впрыскивается в камеру сжатия

под действием внутреннего давления в компрессоре; масляная плёнка на внутренней поверхности статора исключает трение металла о металл при плотном прижиме пластин к стенке статора и плоских торцевых поверхностей ротора к торцам статора. Конструктивное решение позволяет избежать сухого контакта метал по металлу как под нагрузкой, так и при остановке компрессора.

Роторно-пластинчатые компрессоры имеют не высокий уровень вибрации. Не требуют фундамента для установки. Статор, ротор и пластины ротора у компрессоров изготовлены из разных сортов обработанного чугуна. Чугун прочен и хорошо держит масляную плёнку. Ресурс до ремонта роторно-статорного блока составляет 100 – 120 тыс. часов, в зависимости от условий эксплуатации. В течение первых 1000 рабочих часов происходит улучшение показателей вследствие приработки пластин. Далее на протяжении всего эксплуатационного срока, рабочие характеристики ротационного компрессора остаются стабильными. Крупнейшими производителями роторно-пластинчатых компрессоров на территории Европы являются фирмы Mattei, Hydrovane, Gardner Denver Wittig, Pneumofore, кроме этого насчитывается более десяти производителей в Китае.

### **1.12. Компрессорная станция**

Помещение, предназначенное для размещения компрессорных установок и дополнительного оборудования. В случае установки компрессоров с воздушным охлаждением, необходимо предусмотреть приточной вытяжную вентиляцию, согласованную с тепловыделением всех элементов компрессорного оборудования.

Необходимо помнить: компрессорная установка является тепловой машиной и выделяет около 85% потреблённой электроэнергии в виде тепла. Качество работы и срок службы компрессорной установки значительно зависит от температурного режима, в котором она эксплуатируется. Проектирование, монтаж и эксплуатация регламентируется ПБ 03-581-03.

### **1.12.1. Подбор компрессорных установок**

Производится исходя из многих параметров: суммарное максимальное потребление сжатого воздуха всех элементов пневматической сети, их количество и периодичность использования, требование по качеству и стабильности сжатого воздуха, состоянию пневматической магистрали, температурных режимов работы и т.д. Необходимо помнить: крупные компании поставщики компрессорного оборудования, имеющие представительство в России, как правило, имеют в штате сотрудников, обладающих техническими и правовыми знаниями, которые позволяют осуществлять подбор оборудования, наиболее подходящее конкретному потребителю. Компания Сессато готова помочь вам сделать правильный выбор компрессорного оборудования, необходимого вашему предприятию.

### **1.12.2. Резервирование производительности**

Поскольку компрессор необходимо периодически останавливать для технического обслуживания, так же нельзя забывать, что даже самый надежный компрессор может неожиданно выйти из строя, предприятию, режим работы которого не предусматривает технологические остановки, при подборе оборудования необходимо предусмотреть резервную установку. Необходимо помнить: в последнее время используется 50% резервирование по производительности. Это значит, что компрессорная станция состоит из трёх равнозначных компрессоров, два из которых находятся в работе и обеспечивают необходимое количество воздуха. Равномерная нагрузка компрессоров распределяется автоматически или в ручном режиме. Подобная схема даёт возможность проводить техническое обслуживание без остановки производства и имеет защищённость от поломок, равную 100% резервированию при значительно меньших затратах. Применение плавного регулирования в одном из компрессоров обеспечит значительную экономию электроэнергии.

### **1.12.3. Качество сжатого воздуха**

Атмосферный воздух всегда содержит взвешенные частицы и воду в виде пара, которые поступают в компрессор и если не удаляются, то и в пневматическую сеть и далее к потребителям сжатого воздуха. Значительное содержание воды в сжатом воздухе становится причиной коррозии пневматической сети. Взвешенные частицы и ржавчина действуют как абразив на элементы пневмоавтоматики. Всё это приводит к серьезным повреждениям пневматического оборудования, тем самым, вызывая простои оборудования, повышение эксплуатационных расходов и повреждению производимых изделий. Классифицируется по: величине твёрдых частиц, количеству твёрдых частиц, содержанию воды (точка росы) и содержанию масла в сжатом воздухе. Требование к качеству сжатого воздуха определяет производитель оборудования и нормируется по норма расходов сжатого и жидкого химического вещества.

### **1.12.4. Подбор компрессорного оборудования**

Общепромышленные компрессорные установки - предназначены для сжатия атмосферного воздуха до давления 5-15 бар (реже до 20 бар).  
Различаются по:

#### **По принципу действия:**

Объемные компрессорные установки (винтовые, поршневые) применяются при расходах сжатого воздуха до 80 м<sup>3</sup>/мин.

Динамические компрессорные установки (центробежные, турбины) применяются при больших расходах сжатого воздуха (50 м<sup>3</sup>/мин и выше).

#### **По интенсивности использования:**

Профессиональные – предназначены для работы в условиях периодической потребности в сжатом воздухе, рассчитаны на срок службы 2–3 года. Сфера применения – автосервисы, маленькие производственные участки.

Промышленные – предназначены для непрерывной работы в тяжелых условиях, рассчитаны на срок службы 10 – 15 лет.

### **По способу регулирования производительности:**

Ступенчатое – резкое изменение количества производимого воздуха (в большинстве случаев работа – холостой ход – остановка). Простое, недорогое решение, обеспечивает точность регулировки давления 0,5 – 1 бар.

Плавное – изменение производительности точно в соответствии с потреблением воздуха. Заметно дороже, однако позволяет регулировать давление с точностью 0,1 – 0,2 бар, а также, потребляют меньше электроэнергии (разница в цене окупается за счет экономии электроэнергии, как правило, в течение двух лет).

### **Производительность компрессора:**

Объем сжатого воздуха производимый компрессором, пересчитанный к условиям всасывания, как правило 1 бар. 20°C 70% относительная влажность.

Измеряется: литры в секунду (л/с) кубические метры в минуту ( $\text{м}^3/\text{мин}$ ), кубические метры в час ( $\text{м}^3/\text{час}$ ), кубические футы в минуту (cfm).

$1 \text{ м}^3/\text{мин} = 16,667 \text{ л/с} = 35,314 \text{ cfm}$ .

### **Давление нагнетания:**

Измеряют в барах (бар), в атмосферах (атм), абсолютных атмосферах (ата), избыточных атмосферах (ати), паскалях (Па), мегапаскалях (МПа), килограмм силы на квадратный сантиметр ( $\text{кгс/см}^2$ ), фунт на квадратный дюйм (psi).

$1 \text{ МПа} = 106 \text{ Па}$ ;  $1 \text{ атм} = 0,098 \text{ МПа}$ ;  $1 \text{ бар} = 0,1 \text{ МПа}$ ;  $1 \text{ кгс/см}^2 = 0,098 \text{ МПа}$ ;

$1 \text{ psi} = 0,00689 \text{ МПа}$ .

Различают: Давление абсолютное: 0 (ата) = абсолютный вакуум.  
Давление избыточное: 0 (ати) = атмосферное давление в данный момент **Р изб.**  
**= Р абс. - Р атм.**

## **1.13. Твёрдость по Шору (метод отскока)**

**Твёрдость по Шору** – метод определения твёрдости очень твёрдых материалов, преимущественно металлов, по высоте, на которую после удара



отскакивает специальный боёк (основная часть *склероскопа Шора*), свободно и вертикально падающий с определённой высоты. Твёрдость по этому методу Шора оценивается в условных единицах, пропорциональных высоте отскокивания бойка.

Метод и шкала предложены американским промышленником Альбертом Ф. Шором в 1906 году.

Обозначается HSx, где H – Hardness, S – Shore и x – латинская буква, обозначающая тип шкалы, использованной при измерении. Например, 85HSD.

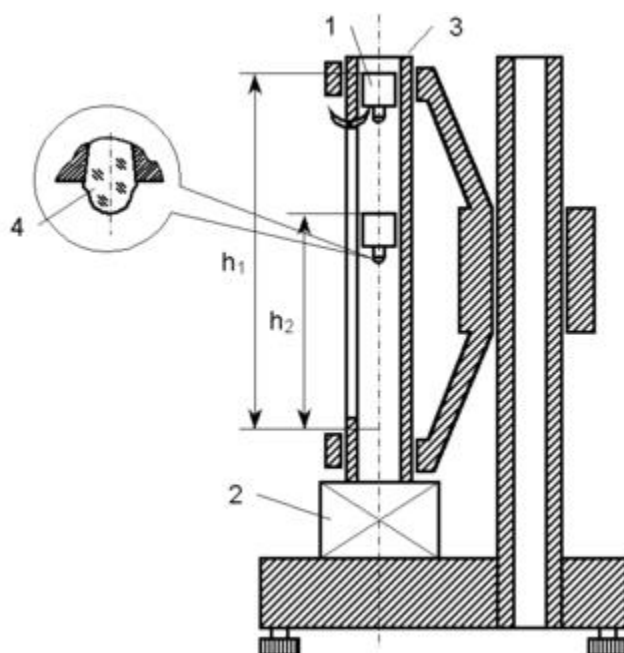


**Рис. 13. Универсальный электронный динамический твердомер со шкалой Шора (склероскоп)**

Величина твёрдости по Шору не имеет точного метода перевода её на другие величины *твёрдости* и *прочности* при растяжении.

Основные шкалы С и D. Шкала прибора имеет 140 равных делений. Нормируемая высота отскока бойка соответствует 100 делениям. Цена деления должна быть не более 1-й единицы твёрдости по Шору. В склероскопе модели С высота падения бойка  $h_1 = 254$  мм; высота отскока  $h_2 = 181,4$  мм (соответствует 100 единиц твёрдости по Шору). В склероскопе модели D высота падения бойка  $h_1 = 19,0$  мм; высота отскока  $h_2 = 13,6$  мм (соответствует 100 единиц твёрдости по Шору).

Твёрдость по Шору для углеродистой стали связана с твёрдостью по Бринеллю и пределом прочности при растяжении  $\sigma_b$  следующей зависимостью:



**Рис. 14. Устройства прибора**

Схема склероскопа Шора: 1 – боёк, 2 – испытуемый образец, 3 – трубка склерометра, установленная на штатив, 4 – алмаз.

Склероскопы Шора снабжаются бойком с алмазным наконечником сферической формы.

Склероскоп Шора модели С представляет собой полу трубку с окном, на котором нанесены деления шкалы, в ней падает лёгкий боёк массой 2,5 г и радиусом сферы алмаза 1,25 мм. Высота отскока регистрируется визуально. Для испытания мягких материалов допускается применение бойка со стальным тупым наконечником. Значения твёрдости, полученные с таким бойком:

$$H'_{sh} = H_{sh} / 0,56.$$

Склероскоп Шора модели D представляет собой полу трубку, в которой падает тяжелый боёк массой 36,0 г и радиусом сферы алмаза 1 мм. Высота отскока регистрируется либо механическим индикаторным устройством, либо электронным. В первом случае значения твёрдости получаются менее точными, вследствие увеличения потерь.

В верхней части трубки имеется фиксирующий – спусковой механизм, предназначенный для удержания и отпущения бойка. Трубка склероскопа является съёмной частью, устанавливаемой на специальную подставку (штатив), имеющую в своём составе предметный столик.

Склероскопы Шора снабжаются эталонами твёрдости.

Проведение испытаний:

Испытание проводят при температуре окружающей среды  $20^{+15}/_{-10}$  °С.

При измерении непосредственно на изделии его масса должна составлять не менее 5 кг. Масса образцов, устанавливаемых на столик твердомера, должна составлять не менее 0,1 кг и они должны иметь толщину не менее 10 мм.

Поверхность испытуемого изделия или образца должна быть свободной от масла и грязи, иметь шероховатость не более  $R_a = 2,5$  мкм по ГОСТ 2789-73.

Поверхность столика прибора должна быть ровной, свободной от масла и грязи.

Перед испытанием склероскоп устанавливается вертикально по уровню или отвесу, а поверхность испытуемого образца или изделия – горизонтально. Образец, устанавливаемый на столик прибора, плотно зажимается на нём. Для цилиндрических образцов используют V-образную подставку. Изделия больших размеров испытываются с помощью съёмной части прибора. Основание прибора плотно прижимается к испытуемому образцу или изделию.

Проводят не менее 5 измерений в разных местах на исследуемом участке образца или изделия, но на расстоянии не менее 2 мм между двумя соседними отпечатками и от края образца или изделия.

При проведении испытания частота ударов должна быть не более 5 в 10 с. *Среднее арифметическое* результатов измерения принимается за твёрдость данного образца или изделия при условии, что разность между наибольшим и наименьшим значением результатов измерений не превышает 5 единиц. В случае отличия более чем на 5 единиц, испытание повторяют, удвоив количество измерений (отпечатков).

Полученную твердость по Шору указывают с округлением до целой единицы шкалы.

## **ГЛАВА 2. ОБЗОР И АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ, ПАТЕНТНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

### **2.1. Обзор и анализ литературных данных**

Развитие современного машиностроения характеризуется повышением скоростей и мощностей машин, и надежности. Несоответствие деталей требованиям, предъявляемым к ее форме или к ее прочности, выявляется в начале эксплуатации или с течением времени вследствие постепенной утраты своих первоначальных свойств.

Очень многие отказы в процессе эксплуатации происходят по причине износа, деформации, коррозии, точности формы и шероховатости поверхности деталей. В результате чего в производстве непрерывно возрастает удельный вес, объем операции различных видов чистовой обработки при изготовлении деталей. В частности, во всех отраслях промышленности все более широко внедряются методы получения поверхности слоев металлических изделий на основе пластической деформации в холодном состоянии, что имеет преимущество по сравнению с существующими способами обработки резанием. Так как при существующих способах обработки (шлифование, точение и доводка), производится снятие стружки, то микрорельеф поверхности расположен хаотично. Это существенно сказывается на эксплуатационных свойствах деталей. Факторы, влияющие на эксплуатационные свойства деталей, в целом, определяют ее качество и состояние поверхностного слоя.

Нормирование и техническое обеспечение качества состояния поверхностного слоя при проектировании деталей машин и оснастки является наиболее ответственным и сложным. Ответственность заключается в том, что качество поверхности значительно влияет на эксплуатационные свойства деталей, а сложность определяется большим числом взаимосвязанных факторов качества поверхности, а также их связью с различными эксплуатационными свойствами.

По работе [50] качество поверхности разделено на две параметра:

геометрические и физические. Геометрические параметры состоят из микрогеометрии (отклонение формы, волнистость), шероховатости и опорных точек контакта на одной базовой длине. К физическим параметрам относятся структурные превращения, микротвердость и величина остаточного напряжения. В процессе эксплуатации машин и оснастки качество поверхности их деталей ухудшается влиянием таких явлений, как износ, образование и развитие микротрещин, задиры, коррозионное и эрозионное разрушения, и др. По взгляду потребителя, необходимо также сохранение постоянства качества поверхностного слоя в течении длительного срока эксплуатации.

Неровность и числовые значения микрогеометрических параметров поверхности в определенной степени по времени, влияют на точность полученных размеров, установленных с предельными допусками. Это оправдывается тем, что в нем неравномерности по высоте шероховатости, оцениваемые по  $R_a$  и  $R_z$ . Назначение микрогеометрии поверхности зависит от результатов метрологических условий работы сопрягаемых соединений.

По данным [54] приводятся шесть параметров шероховатости в пределах базовой длины:

Среднее арифметическое отклонение профиля,  $R_a$  ( $R_a = 0,008 - 100$  мкм);

Высота неровности профиля,  $R_z$  ( $R_z = R_{max}$ );

Наибольшая высота неровности профиля,  $R_{max}$  ( $R_{max} = 0,025 - 1600$  мкм);

Средний шаг поверхности  $S_m$  ( $S_m = S = 0,002 - 12,5$  мм);

Средний шаг неровности профиля по вершинам  $S$  ( $S = S_m$ );

Относительная опорная поверхность сопрягаемой длины профиля,  $t_p$ ;

$$(t_p = 10 - 90\% \quad \text{при} \quad l = 0,01 - 2,5 \text{ мм});$$

а для шероховатости, полученных параметров конструктор может руководствоваться двумя характеристиками: направлением шероховатости и последовательностью обработки.

Известно, что в технических условиях обозначения шероховатости поверхности в зависимости от эксплуатационных свойств деталей машин

устанавливаются по одному или нескольким параметрам.

### **2.1.1. Теоретические основы пластической обработки металлов давлением**

В трудах ученых неоднократно отмечаются случаи яркого проявления законов категорий диалектики в сфере близких ей производств, полезность диалектического метода в собственной научной работе. В частности, широкое признание в мировой практике получило применение в теории пластичности тензорного анализа. Математически расчленения тензор напряжений на шаровую двиваторную части, пришили к прочно укоренившемуся классическому представлению о физической роли этих двух тензоров как при развитии упругой и пластической деформации тел, так и при изменении физических – механических свойств этих тел.

Рассмотрим яркий случай метафизического отрыва формы (математической) от содержания (физической), пример отсутствия связи между тем и другим. Умственный подход обращает внимание на то, что уже на протяжении многих лет существует совершенно лишенное диалектических основ классическое представление о том, что трение есть сопротивление движению тел. В действительности, во всех случаях существует парность действия трения как замедляющегося, так и активизирующего. Отстающее из трущихся тел препятствует или стремится препятствовать опережающему тела, а опережающее тело, наоборот, способствует движению отстающего тела или стремится к этому.

В технике всем хорошо известно, что подшипник противодействует вращению вала примерно на величину  $\eta = 0,98 - 0,99$ . Это как раз относится к выше сказанному пониманию действия трения. Однако, одновременно и опережающее тело (вал) действует на подшипник, стремясь вращать его вслед за собой. Работа [57] открывает богатые перспективы перехода в технике от отрицательного сопротивляющегося действия сил трения к использованию их активного положительного воздействия на данное тело.

В трудах советских ученых, посвященных развитию теории обработки

металлов давлением, приведено много примеров плодотворных обобщений диалектикой. При построении современных частных теорий процессов обработки металлов давлением исходят из ряда основных общих положений, рассматриваемых в общей теории обработки давлением, в тесной связи с теорией пластичности и другими смежными науками. Были обобщения с основными способами получения тела определенной заданной формы, создана классификация всех возможных схем напряженного состояния, схем главных деформаций и соответствующих их сочетаний, что в целом схватило все мыслимые процессы обработки металлов давлением.

В 60 – 70-х годах было достигнуто всего лишь количественное изменение одного простейшего геометрического показателя – качества поверхности деталей. Нами предусматривается количественное и качественное измерение геометрического и физико-механического показателей качества поверхности. Так как в процессах пластической деформации имеет пластичность обрабатываемых материалов, также, как и их прочностные свойства сопротивляющейся на деформирующими силу.

К сожалению, сохраняется еще лишнее диалектических основ ложное представление о том, что «размягчение» металлических материалов, понижение их сопротивление деформации, означает якобы увеличение их пластичности, в частности, под влиянием нагрева. Это заблуждение привело к ошибочному метода оценки пластичности материала. Как известно, начальное действующее среднее напряжение на контакте

$$\sigma_n = p / S_n \text{ кгс/мм}^2,$$

где

$S_n$  – начальная площадь контакта.

Величина этого напряжения может значительно превосходить полное сопротивление деформации  $p$  кгс/мм<sup>2</sup> материала. Чем больше разница величинами  $\sigma$  и  $p$ , тем значительнее будет расплющивание образца. Поэтому при обработке пластической деформацией необходимо соблюдать условие



$$\sigma = p \text{ или } \sigma_k = p_k,$$

где

«к» - означает конечное значение величин.

Оценка пластических свойств требует учитывать большое количество действительных методов, диалектической основой которых служит совсем иной, критический переход количества в качество, а именно, доведение пластической деформации материала до того момента, когда начинается его разрушение.

Этому вопросу будет посвящена настоящая работа. При обкатке может происходить обложение структур поверхностного слоя материала – уплотняется его структура – повышается микротвердость поверхностей. Именно этого позволяет увеличить прочность, а полученный после обкатки микрорельеф дает возможность повысить сопротивление износу.

В исследовании долговечности деталей компрессорного оборудования мы должны учитывать сложные диалектические переходы, изменение структуры поверхностного слоя в процессе приработки и др.

### **2.1.2. Общая оценка качества поверхности, связанной с**

#### **эксплуатационными свойствами деталей машин и приборов**

Обработка поверхности пластическим деформированием (ППД) существенно изменяет формы и расположение неровности, оставленных инструментам предназначенный для снятия стружки. При обработке ППД образуется совершенно качественное и количественное совершенно новое поверхности деталей. При этом размеры направляющие и образующие линии существенно не меняется, размер остаётся в приделе допуска. Шероховатость сглаживается, трамбируются во впадины именуемого, улучшается чистоты и микротвердость поверхностного слоя. Поэтому обеспечение поверхностного слоя деталей должна рассматриваться не только как способ получения определенной формы и размеров, но и как эффективный способ управление

эксплуатационными характеристиками поверхностного слоя.

Многие работы, сделанные авторами [1, 2, 3, 6, 9, 11, 15, 25, 31, 32, 33, 34, 36, 38 и др.] показали, что получение точности размером решается практически достаточно легко и надежно, но обеспечение высокого качества поверхности требует особого внимания. При обычном резании шероховатость является наследием режимов обработки и радиусом закругления режущей кромки инструмента. Свойства поверхностных слоев деталей определяются технологической наследственностью на всех операциях технологического процесса. Весьма важную роль играет не только оценка шероховатости, но и профилограммы и топография рабочих поверхностей. Шероховатость влияет не только на износостойкость, но и на контактную жесткость, схватыванию двух взаимовращающихся тел и проливаную жидких масс в процессе работы.

Форма профиля шероховатости поверхности может характеризоваться углами наклона боковых сторон микронеровностей и относительно большим радиусом закругления вершин выступов и впадин. От этих параметров прежде всего зависят величины облегчения контактирующих деталей под действием нагрузки, а также процесс их изнашивания. Поэтому в вопросах определения износа, контактной жесткости к прилипанию жидких масс к поверхности деталей при формообразовании основную роль играют технологические методы обработки. Величины радиусов вершин микровыступов в разных сечениях детали оказываются различными по отношению к направлению следов обработки. По данным [6] при шлифовании радиусы закругления в продольном направлении оказываются большими в 10 – 100 раз, чем поперечном, при точении – в 10 – 30 раз, при фрезеровании и строгании – в 5 – 20 раз, а при полировании и доводки следы не имеют определенной ориентации. Для расчетов приходится усреднять величины радиусов. С помощью микропрофиля можно достаточно полно оценить поверхности сопрягающихся деталей машин и приборов в конкретных условиях.

Микропрофиль не только позволяет наглядно представить полученный

рельеф, но производить необходимые расчеты, например, для определения жесткостных параметров и назначения припусков:

на поверхность  $Rz_{i-1}$ ;

$$\text{на цилиндр } 2Z_{imin} = 2Rz_{i-1} \quad (1)$$

Эта формула может быть справедлив при суперфинишировании, полировании и других доводочных операциях. Поскольку при раскатке (виброраскатке) и накатке (вибронакатке) величина неровностей одновременно сглаживается и образуются уплотненные микроволны.

### 2.1.3. Неровность (шероховатость) поверхности, связанной с эксплуатационными свойствами деталей машин

Поверхностный слой и его качества в наибольшей степени определяют надежность работы высокоточных деталей, а существенное значение имеют высоты микронеровностей в установленной базовой длины. Они условно делится на (см.рис.15.):

- отклонение формы;
- волнистость;
- шероховатость;
- субмикрощероховатость.

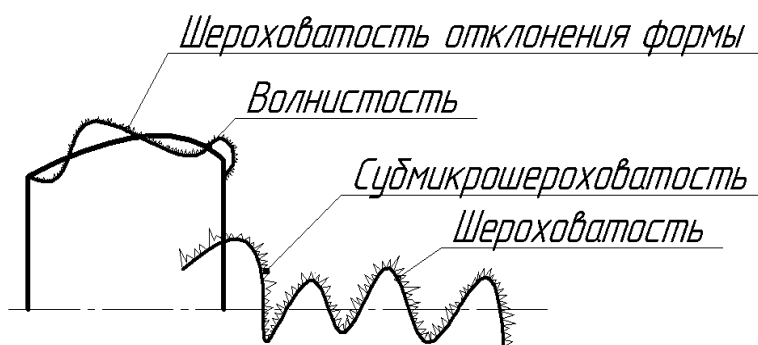


Рис. 15. Геометрия поверхностного слоя

Форма и геометрия неровностей (шероховатость) поверхностного слоя может характеризоваться с углом наклоном в хаотичных направлениях, на баковых поверхностях ее образуются супмикрощероховатостей, ее природу

можно увидеть топографическом методом. От этих параметров прежде всего зависит величины сближений контактирующих деталей под действием нагрузки, а также процесс их влияния на самые разнообразные эксплуатационные свойства деталей, как: трение, износ, контактные деформации, коррозионная стойкость, концентрация напряжений, усталостная прочность, вибрационная активность, обтекаемость жидкости и газа, герметичность соединений, прочность неподвижных прессовых соединений, запыляемость (набухания) поверхностей, электроконтактное соединение, магнитные свойства, отражаемость электромагнитных волны, пушение нитей в текстильных машинах и качества тканей, теплопроводимость и радиоактивные свойства, прочность качества покрытий [36, 51].

Анализом выявлено, что так называемое свойство “прилипания” жидких масс, на шероховатых поверхностях не установлены. Так как в процессе формирования из-за наличия шероховатости на поверхностях жидкая масса, прилипались к ней, приводит к порче поверхностей изделия.

Влияние шероховатости на процессы трения к износу имеет очень существенное значение, либо ремонт и восстановление деталей обходится дороже, чем изготовление новой машины [18, 19]. Наличие неровностей на поверхности шариков на один класс снижает срока работы шарикоподшипников примерно на 70% от установленного ресурса. Для повышения износостойкости трущихся пар, наилучшим является гидродинамическое трение. Если шероховатость грубая, то при скольжении поверхностей разрушается смазочная пленка, а это может вызвать сухое трение, выявлению износу, а в отдельных случаях, контактное схватывание поверхностей. Но при нормировании чрезмерно гладкие поверхности является невыгодными, так как шероховатость не удерживает смазку и не создает масляных микрорезервуаров. В работах [20, 37] показано, что трения полированного вала в отверстии значительно выше, чем шлифованного.

С точки зрения износостойкости, как при сухом, так и при

гидродинамическом трениях, шероховатость, полученная вибронакатыванием, имеет результативные значения. Например, при нанесение регулярных микрорельефов вибронакатыванием на поверхности гидроцилиндра автомобиля ЗИЛ-130 срок приработки сократился до 24 часов, после хонингования срок приработки доходило до 54 часов. Нанесением регулярных микрорельефов на рабочих поверхностях мерительных инструментов типа калибров-пробок срок службы увеличился до 2 – 3 раз [16, 30, 41].

Длительность сохранения заданной точности сопряжения во многом зависит от шероховатости. В процессе эксплуатации неровностей контактирующих поверхностей изнашиваются, нарушаются увеличивается предусмотренные величины зазоров установленным конструктором и тем самым ухудшаются эксплуатационные свойства деталей машин и оснастки. Поверхности при наличии неровностей соприкасаются на очень малой площади, составляющей 1 – 10% от номинальной [18]. При образовании регулярных микрорельефов вибронакатыванием увеличивается опорная поверхность площади контакта. За счет увеличения спорной поверхности, площадь контакта сопряжения достигает 10 – 70% [51].

Шероховатости, образующиеся на поверхности резанием, вызывают концентрации напряжений и это вызывает снижение усталостной прочности, особенно при знакопеременных нагрузках. Известен пример, когда нарушение поверхности от удара плоской инструментом на глубину 1мм снизило предел усталости на 10%, а острая царапина глубиной 0,1 мм привела к снижению предел усталости на 40% [35]. Концентрация напряжения на дне, закономерно расположенных канавок, в связи с самозагружением оказывает меньшее влияние на усталостную прочность, чем концентрация напряжений у случайных царапин [7].

В работе [36] показано, что ударная прочность при переходе шероховатости от  $R_z = 320 - 1600$  до  $R_a = 0.080 - 0.040$  мкм снижается при температуре всего на 17%, но при низких температурах ударная прочность с

увеличением шероховатости в том же порядке падает на 80%.

Особое значение имеет виброактивность из – за наличия шероховатости поверхностей, которая способствует увеличению вибрации и шума при работах сборочных единице.

Эффект собираемых изделий, в значительной степени зависит от шероховатости, от формы неровностей и их заостренности, так как микростружка, попадая в зону сборки шероховатых поверхностей, влияет на точность сборки.

Таким образом, доказано существеннейшее влияние шероховатости практически на все эксплуатационные свойства как деталей, так и машин и приборов, и оснасток. Этот факт призывает отвода внимание к проблемам шероховатости. Поэтому, в зарубежных промышленностях большое внимание уделяется к улучшению макро-и микрогеометрических параметров поверхности деталей машин приборов.

#### **2.1.4. Повышение долговечности деталей машин путем выбора оптимального метода обработки**

В последние годы все большее предъявляется требования к экономичности, надежности и долговечности изготавливаемых машин. Как известно, любая машина или оборудование собирается из узлов (под узлов) и составных деталей показан в виде блочных схем (рис. 16.).



**Рис. 16. Блочная схема сборочных единиц**

Надежность и долговечность сборочных единиц (машин и оснастки) главным образом, зависят от качества поверхностей детали, точности размеров и надежности сборочных единиц узла (под узлов).

Поэтому в машиностроении при формировании деталей с качественными показателями металлообрабатывающих станках больше уделяется внимание на выбору оптимального метода обработки. Выбранный метод обработки, должны обеспечить направления и равномерности расположения шагов неровности, также постоянства размеров высоты и радиус закругления вершины неровности поверхности, многих качественных показателей определяющие свойств деталей. Несмотря на это, в случае, когда предъявляются высокие требования к качеству обработки в металлообработке, основное место занимают резание металлов. При обработке резанием значительная часть металла удаляется в стружку, при этом волокна детали подрезаются и тем самым происходит ослабление поверхностного слоя детали и на воздействие ряд отрицательных факторов, как сила и скорости обработки, температура, влажность и др.

Кроме того, при чистовой и отделочной обработке точных деталей возникает необходимость использования дорогостоящих инструментальных материалов и оборудования, высококвалифицированного рабочего труда. Трудоемкость и сложность обработки поверхности до минимальной высоты шероховатости всегда приводил к повышению себестоимости деталей особенно на финишной-отделочных операциях резанием.

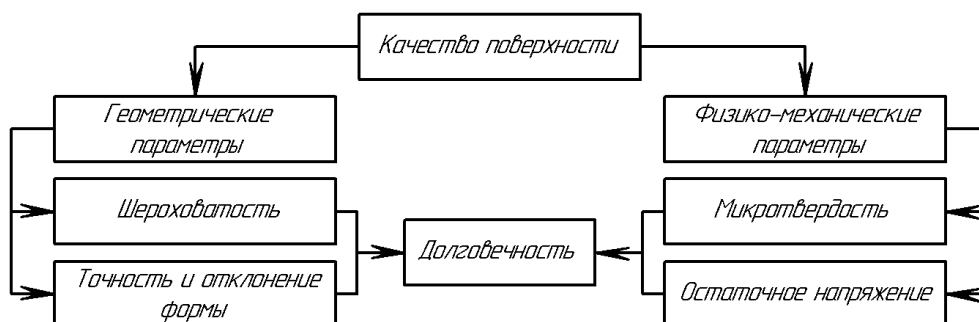
Указанные недостатки несвойственны холодной обработки поверхностным пластическим деформированием, при которой обеспечивается высокая точность размеров деталей, высокой качественным показателям поверхности и возможность обеспечения наилучший физико-механических свойств поверхности. Отсутствие отходов металла на финишных операциях, высокая производительность труда и простота осуществления делают этот вид обработки особенно перспективным. Особенность процесса такой обработки состоит в том, что в поверхностных слоях металла планомерно создается упругопластическая деформация – наклеп. Это повышает физико-механические свойства деталей машин. Одновременно наклеп на поверхностных слоях деталей вызывает появление накопление остаточных напряжений. По данным

[1] напряжения достигают до 45 – 75 кг/мм, которые создают благоприятные условия для сопротивления металла различным нагрузкам. В результате повышается прочность не только поверхностных слоев, происходит равномерное расположение атомов в кристаллических решетках. Кристаллические решетки сплющится, расстояние между решетками сблизится и сопротивление внешних воздействующих сил возрастает- деталь становится ресурсосберегательными.

Обработка металлов давлением в холодном состоянии основана на использовании их пластических свойств, то есть способности металла принимать в определенных условиях под действием внешних сил остаточные деформации без нарушения целостности. Пластическая деформация в значительной степени изменяет почти начальное физико-механические свойства металла, увеличивает сопротивление деформированию, то есть повышает микротвердость и предела текучести. По нашим опытным данным установлено, что прочность может повыситься в 2 – 3 раза, а предел текучести металла – в 4 – 5 раз.

Изменение этих свойств в первую очередь зависит от степени пластической деформирования металлического материала изделий и количества проходов при обработке.

Нами предполагается рассмотреть влияние на качество поверхности деталей параметров, обусловленных эксплуатационными свойствами по следующей структурной схеме:



Из структурной схемы видно, что на качество поверхности детали



наибольшее влияние оказывает шероховатость. В свою очередь, шероховатость поверхности влияет на прочность посадок, износостойкость, усталостную прочность и другие важнейшие свойства деталей. Достижение низких по величине классов шероховатости при обработке резанием в большинстве случаев связано с весьма трудоемкими абразивными процессами – тонким шлифованием, хонингованием, притиркой и супер финишированием доводкой.

При обработке давлением обеспечение такой шероховатости поверхности не связано трудоемкими процессами и применением высококвалифицированного станочного труда. Образование минимальной по высоте шероховатости пластическим деформированием у металла сопровождается сглаживанием шероховатости.

Применение в качестве деформирующего инструмента закаленных, тщательно отделанных металлических шариков или роликов исключает появление в обрабатываемую поверхность каких-либо абразивных частиц.

При финишной чистовой обработке пластическим деформированием в отличие от чистовой обработки резанием, металл нагревается незначительно, его волокна не разрушаются, в поверхностном слое появляются благоприятные сжимающие напряжения. Нами в предварительных испытаниях было установлено, что шероховатость поверхности за один проход улучшается в 3 – 5 раз, при этом, уже было описаны, сохраняется точность исходных форм.

Далее было исследовано влияние процесса накатывания шаровым деформирующим инструментом наружной поверхности втулки, изготовленной из легированной стали марки ХГСН обработанной лезвийным инструментом. Неровность поверхностного слоя после обработки лезвийным составляло  $R_z = 16 - 10$  мкм. Операция накатывания производилась на токарном винторезном станке с числовым программным управлением мод. 1К625Ф3. После третьего прохода обкатным шариком величина шероховатости составляла  $R_a = 0.16 - 0.63$  мкм, а микротвердость поверхностного слоя по Шоры составляло 42 – 45 единиц.

По результатам опыта Ю.Г. Проскуракова, у деталей, обработанных шаровым деформирующим инструментом, износостойкость поверхности увеличивается в 1,5 – 6 раз, а усталостная прочность – в 1,2 – 7 раз.

Повышением усталостной прочности поверхностного слоя детали также одновременно улучшает антизадирные свойства рабочих поверхностей, что важно в выполняемой работе.

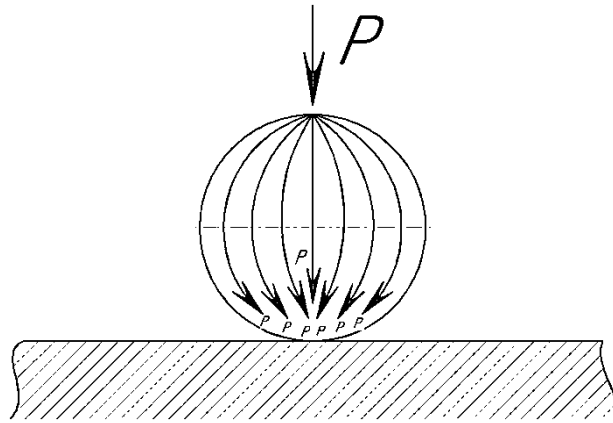
Таким образом, для повышения износостойкости и прочности поверхностей детали машин, к которым предъявлены повышенные требования как на износостойкости и прочности с высокими антизадирными свойствами, необходимо, применения обработки поверхностным пластическим деформированию.

#### **2.1.5. Пластическая обработка металлов деформированием**

Обработка металлов давлением заключается в том, что при формировании поверхности деталей на финишной-механической безразмерной обработки методом пластическое деформирование. Здесь условно использован слова «безразмерное». Это объясняется тем, что размеры под действиям поверхностное пластическое деформирование с поверхности деталей стружки не снимается. Деформируемое тело свою форму не изменяет, размеры остаются в пределах допуска установленной ОСТом и ГОСТом Отсюда втекает слова без размерное.

Экспериментальное исследование проведенные в области обработка металлов деформирования (ОМД) показали то что в последние годы, к обработке пластическому деформированию подвергают ряд деталей с целью повышения эксплуатационных свойств машин и приборов, таких как надежность, долговечность, производительность в технологических чистовых операциях и др. В качестве деформирующих инструментов принимаются: шаровые накатники и раскатной инструменты. Накатной инструмент используется для наружных, а раскатной для цилиндрических отверстий. При накатывании, как и при других методах обработки пластическим

деформированием, деформирующий элемент (твердосплавный гладильщик, шарик, ролик или алмазный наконечник) вдавливается на поверхность с силой давлением  $P_p$ , кгс. Сила давления транслируются по поверхности действия (рис.17),

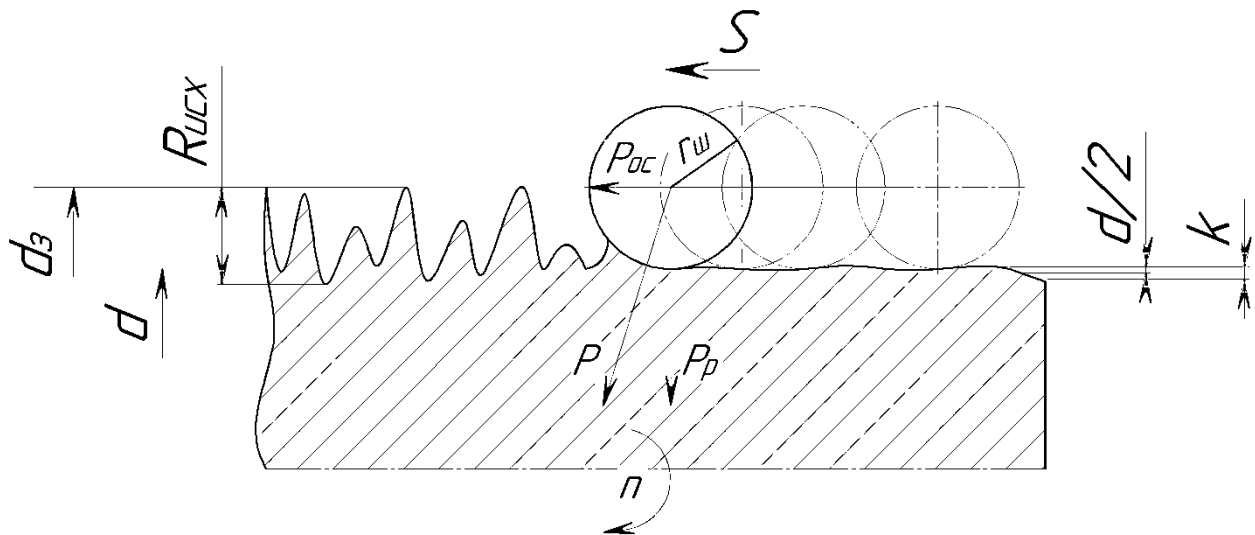


**Рис. 17. Схема трансляция сил по поверхности тел.**

и уплотняет на величину «у»:

$$y = D - d$$

при этом деформирующий шар уменьшает высоту неровности (рис. 18).



**Рис. 18. Схема процесса накатки одношариковым деформирующим инструментом.**

**Из схемы:**

$d_z$  – диаметр заготовки с наибольшими высотой шероховатости полученной до накатывания, мм;

$d$  – диаметр заготовки полученной после накатывания, мм;

$d/2$  – воображаемый средней диаметр ( $k/2$ ), мм;

$R_{исх}$  – наибольше размер шероховатости, мм;

$r$  – радиус окружности шарика, мм;

$P$  – сила накатки, кГс;

$P_r$  – радиальная сила накатки, кГс;

$P_{ос}$  – осевая сила накатки, кГс;

$S$  – направления подачи, об/мин;

$n$  – принудительная вращения шара,  $n = f(S_{ос}, f_{тр}, P_r \text{ и др})$ ;

$\varphi$  – угол между силой накатки и радиальной, рад;

$k$  – высота вольны, мм.

ППД применяют в главном образом для отделки и упрочнения поверхностного слоя. Накатыванием (раскатыванием) переходных поверхностей и канавок производят радиусными роликами или шариками соответствующим радиусом, консольно-закрепленных и относительно длинных деталей с помощью трехроликовых или трехшаровых головкой, а непрямолинейное глубокие отверстий калибруется несколькими шариками, последовательно закрепленными на гибкой оправке (стальной трос - канат).

Формы, имеющие фасонные поверхности, обрабатываются на станках по копиру или при помощи, следящей системы.

Следящая система управления – это система автоматического управления, в которой закон изменения регулируемой величины заранее неизвестен, и управляемая величина воспроизводит произвольно изменяющееся задающее воздействие.

Следящая система может быть реализована с любым фундаментальным принципом управления и отличается от аналогичной системы программного

управления тем, что вместо датчика программы в ней будет размещено устройство слежения за изменениями внешних воздействий.

В следящих системах управляющее воздействие также является величиной переменной, но математическое описание его во времени не может быть установлено, так как источником сигнала служит внешнее явление, закон изменения которого заранее неизвестен.

Так как, следящие системы предназначены для воспроизведения на выходе управляющего воздействия с возможно большей точностью, то ошибка, так же, как и в случае систем программного регулирования, является той характеристикой, по которой можно судить о динамических свойствах следящей системы. Ошибка в следящих системах, как и в системах программного регулирования, является сигналом, в зависимости от величины которого осуществляется управление исполнительным двигателем. При этом кинематика обрабатываемой головки жестко кинематической связана с системой. Повышение эксплуатационных показателей деталей, обработанных пластическим деформациям, способствует благоприятное расположение волокон металла в поверхностных слоях, при этом отсутствует прорезание волокон металла и устраняются опасные зоны концентрации напряжений в поверхностных слоях. Качественные показатели поверхностей деталей обработка пластической деформацией наряду качественными показателями с другими значительно повышает предел износостойкости поверхностного слоя. Опыт, проведенный на роликовых дорожках, тяжелой транспортной машин в «Технопарке» кафедры «ТМС и А» Ферганского политехнического института, города Ферганы механическом заводе города Ферганы, показывает, что поверхность роликовой дорожки (для тяжелой транспортной машины), обработанной пластической деформацией, при эксплуатации, срок при активной работы (износостойкость, сопротивляемость на коррозиообразование и др.) продлился до четырех раз.

За последние годы опубликованных работах, подтверждаются метод ППД при изготовления деталей машин и приборов с повышенным требованиям на качественный характеристик связанной эксплуатационными свойствами рекомендован как проявляющийся себя наилучшими методами обработкой [36, 37, 47, 48, 49, 50].

Таким образом, у деталей, полученных пластическим деформированием, наряду с другими качественными показателями также увеличивается износостойкость и коррозионнойстойкость трущихся поверхностей.

## **2.2. Обзор и анализ патентных данных**

Одним из наиболее эффективных методов для повышения долговечности деталей компрессорного оборудования принят, обработка деталей ППД. В связи с этим по принятому методу проводился патентной поиск, а также информации о научно-технической литературе, с целью отбора и анализа охраняемых документов и реферативной документации, в которых отражены способы и устройства инструмента обработки деталей машин ППД, в частности, накатка поверхностей детали шаровым деформирующим инструментам или роликами, вибронакатником, различных конструкции инструментов, а также сведения об изменениях строения структур и качественных свойств поверхностного слоя деталей после накатывания и вибронакатывания.

Патентные исследования определяет, из числе отечественных и зарубежных изобретений на и лучших рентабельных с которым достигается наивысших технико-экономических показателей.

При анализе использованных документов, отобранные в процессе поиска, использовались материалы Российской Федерации, Великобритания, США, Франция, Япония, Германия, НРБ, Чехия и Словения и др., реферативные и библиографические издания развитых стран, реферативный журнал и экспресс-информация РИНТИ “Технология машиностроения”, “Технология и

оборудование механосборочного производства”, издание ЦНИИТЭИТ ЯКМаш (РФ), ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ (ЭН), журнал “Вестник машиностроения” издательство “Москва”, “Машиностроения”.

В результате проведенного поиска было отобрано по исследуемой теме 233 авторских работы и 69 патентов.

### **2.2.1. Характеристика технического уровня**

Всемерное повышение качества продукции в современных условиях приобрело особое значение как одно из неперенных условий приобрело особое значение, как одно из неперенных условий роста эффективности производства. Эксплуатационные характеристики деталей зависит в первую очередь от состояния поверхностного слоя. Разрушение и выход из строя деталей от коррозии, усталости, износа и т.д, начинается обычно с поверхности. Поэтому широко применяются легирование, термообработка, защита покрытиями поверхностей деталей и их упрочнение.

Одним из наиболее эффективных процессов металлообработки, обеспечивающих существенное повышение качества обработанных поверхностей, является размерно-чистовая и упрочняющая обработка методом поверхностного пластического деформирования (ППД).

Наиболее простой отделочно-упрочняющей обработкой является накатывание поверхности деталей шаровой и роликовой деформирующей головкой.

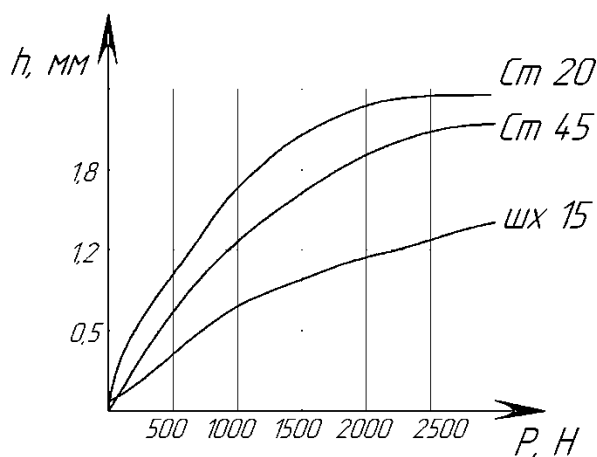
Сущность метода заключается, в том, что элементы (шарового и роликового) деформирующие инструмента или приспособления вдавливаются в обрабатываемую поверхность и катятся по ней. При этом достигаются два эффекта:

- 1) выравнивание микрорельефа поверхности;
- 2) изменение структурное строение и физико-механическая свойства поверхностного слоя металла.

Отсюда, имеется две цели:

- 1) улучшения чистоты поверхности обрабатываемых поверхностей;
- 2) упрочняющая обработка.

При одновременно вдавливании и качении шариков или роликов по обрабатываемой поверхности происходит выдавливание микрорельефа поверхности за счет снятия гребенков микронеровностей и выдавливание металла во впадины между микронеровностями. При этом получаемый рельеф со скругленными микронеровностями. При этом, получаемый рельеф способствует повышению контактной жесткости, износостойкости, хорошо держит смазку.



**Рис. 19. Влияние условия накатывания на глубину наклепанного слоя**

Основным показателем качества чистовой обработки является шероховатость поверхности. При отделочно-обрабатывающей является шероховатость поверхности. При отделочно-обрабатывающей обработке поверхностей накатыванием наибольшее значение на шероховатость поверхности оказывает усилие накатывания, которое в свою очередь выбирается с учетом таких факторов, как продольная подача, исходная шероховатость поверхности, физико-механические свойства материала обрабатываемой детали, а также количество проходов инструмента, размера роликов, шариков и деталей.

По данным исследований (Д.Д. Павлов “Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием”, М.,



“Машиностроение”, 1976) выявлено, что у незакаленных сталей поверхность поверхности снижается на 4 – 5 классов, а у закаленных – примерно на 1 класс.

На начальном этапе увеличение давления способствует резкому уменьшению шероховатости.

Однако для каждого материала при определенном уровне его физико-механических свойств существует оптимальная область усилия. Увеличение усилия выше оптимального приводит к ухудшению шероховатости.

Однако является не только эффективным средством чистовой обработки поверхностей, но и способствует такие изменению физико-механических характеристик поверхностного слоя.

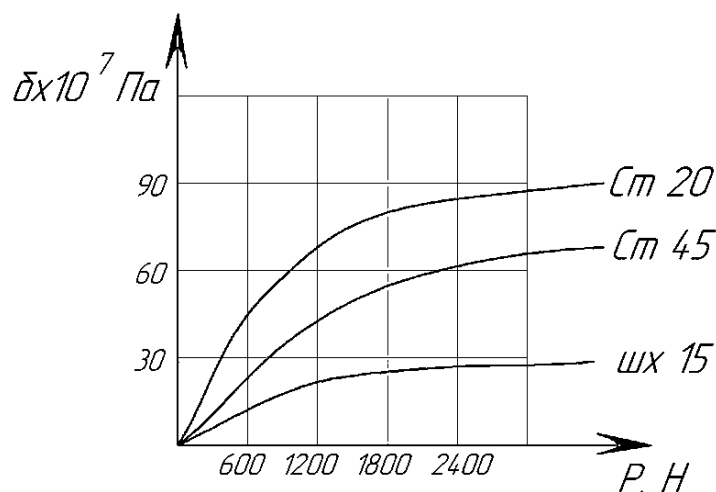
В результате процесса обработки поверхностей деталей накатыванием изменяется структура металла, происходит образование упорядоченной ориентированной структуры волокнистого характера. Поверхностный слой деформационно упрочняется, в результате чего возрастает твердость, предел пропорциональности, предел упругости, предел точности. Одновременно снижаются показатели пластичности, такие как, относительное удлинение сужение и ударная вязкость.

С возрастанием твердости материала величина оптимального давления накатывания (отношение оптимального усилия и фактической площади пятна контакта) возрастает.

Так, если при накатывании стали 20 усилие 500 – 800 Н обеспечивает оптимальное давление  $(140 - 175) \times 10^7$  Па, то для стали У8 требуется оптимальное давление  $(180 - 220) \times 10^7$  Па, достигаемое при усилении 1000 – 1700 Н. Оптимальное давление для закаленных сталей, имеющих твердость Н С 58 – 62 составляет  $(2602290) \times 10^7$  Па, что соответствует усилию 600 – 1000 Н при диаметре шарика 5 мм.

Анализируя твердость можно сделать вывод, что при оптимальных режимах она повышается на 30 – 40%. Наибольшее повышение твердости (при одинаковых нагрузках) достигается у малоуглеродистых сталей, а наименьшее

у легированных. На графике показана глубина проникновения наклепа  $h$  в зависимости от усилий накатывания для сталей 20, 45 ШХ15. Их графика видно, что наибольшая глубина наклепа при одинаковых усилиях достигается при накатывании малоуглеродистой стали. На следующей графе представлены результаты замеров остаточного напряжения  $G$  у сталей 20, 45 и ШХ15 в зависимости от усилия накатывания.

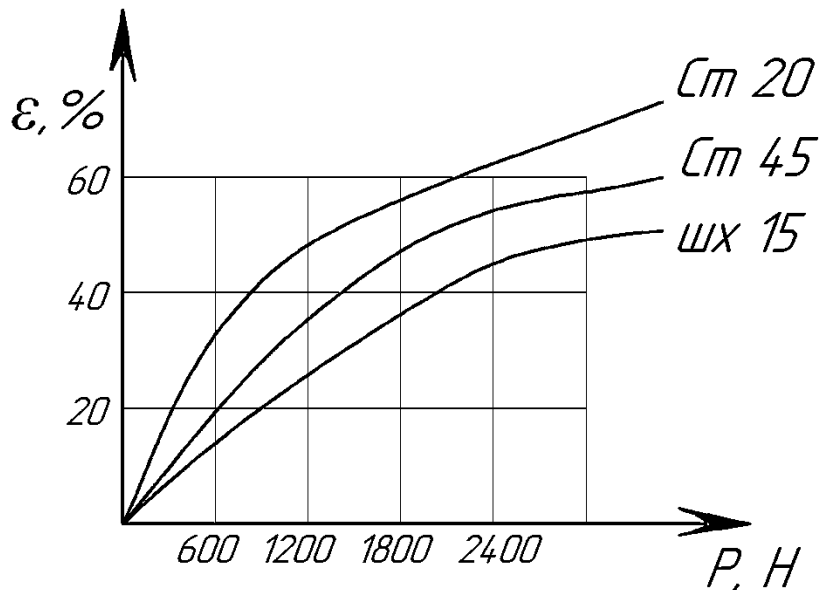


**Рис. 20. Влияние усилия накатывания на остаточное напряжение**

Из графика видно, что остаточное напряжение первого рода при одинаковых усилиях накатывания имеют большую величину в более мягкой малоуглеродистой стали 20.

В результате накатывание значительно повышаются эксплуатационные характеристики деталей машин, например, такие, как износостойкость, усталостная прочность, коррозионно-усталостная прочность, прочность пресовых посадок, стыковая жесткость плоскостей и т.д. Максимальное повышение твердости (до 100%) обнаруживают стали с ферритной, аустинитной и мартенситной, значительно меньше (до 10 – 15%) – с сорбитной и троститной структурами.

Предел выносливости для гладких образцов при испытании на усталость при изгибе повышается на 30 – 45% в зависимости от режимов ППД, свойств материала, габаритов детали и условий испытаний.



**Рис. 21. Влияние усилия накатывания на относительную микротвердость поверхностного слоя**

В качестве инструмента широко применяется как однороликовые и одношариковые инструменты, так, и многороликовые, многорядные инструменты, шариковые головки, раскатки для обработки отверстий. При отборе патентной документации было выявлено многообразие раскаток.

### 2.3. Обзор и анализ производственных данных

На Ферганском П.О. эксплуатируется большое количество поршневых компрессоров, различных насосов. При эксплуатации наблюдается значительный отказ деталей, в основном по причине износа цилиндров, штоков, сальников, поршневых косец, подшипников скольжения.

При изготовлении вышеупомянутых деталей на финишной операции особое внимание уделяется качеству несущих поверхностей.

Штоки компрессоров 6М40 и 5Г6-280/320 подвергают азотации и полированию. Термическая обработка “азотация” требует высококвалифицированного термиста и большой затраты времени. От режима термообработки зависят многие качества поверхности. Так как незначительные

отклонения от нее приводят к порче изготавливаемых изделий на конечном этапе обработки.

В последнее время в азотной промышленности детали компрессорного оборудования такие, как сальники, поршневые кольца изготавливают из пластических масс (капралон В), наполненные фторопласты АФГ-80, ФЧК-20). Применения деталей из пластических масс дали некоторые хорошие результаты, но в процессе приработки наблюдается значительный износ на поверхностном слое сальников и поршневых колец, несмотря на то, что несущие поверхности штоков и цилиндров тщательно шлифуются до.

После приработки узлы компрессорного оборудования и насосов разбираются для замены сальников и поршневых колец. По предварительному расчету установлено, что час простоя одного оборудования на ремонт заводу обходится в 14255000 суммах.

После определенного срока работы компрессоров и насосов наблюдается износ цилиндров и штоков. На цилиндрах наблюдается изменение формы (корсетобразный или бочкообразный), за счет износа. На штоках появляются продольные риски и износ по рабочей поверхности. В результате чего наблюдается утечка газа через сальник. Учитывая, что газы, нагнетаемые компрессорами, такие как утечка будет очень нежелательной.

Изложенный метод пластического деформирования металла в литературном обзоре для данного случая представляется очень перспективным, так как позволяет значительно повысить циклическую прочность несущих поверхностей деталей, работающих при знакопеременных нагрузках и недостаточной смазочной пленкой. Также этот метод значительно увеличит пробег подшипников, долговечность цилиндров, штоков, сальников и поршневых колец.

Таким образом, проблема долговечности и надежности работы поршневых компрессоров, насосов стоит в производственном объединении “Азот” очень остро. Увеличение межремонтных пробегов, сокращение сроков

ремонтов дало ощутимые результаты при внедрения промышленного образца.

### **2.3.1. Статические сведения отказа работы компрессоров за последний период**

Для установления характерных причин отказа деталей компрессоров на заводе п/о “Азот” были собраны материалы за последний период. Сбор статических сведений об отказах проводился для компрессоров типов ГК и АК. Согласно существующего графика планового-предупредительного ремонта (ППР) периодичность ремонта компрессоров составляет следующие сроки: капитальный ремонт – 1 раз в 4 года (наработка составляет 25920 ч.), малый капитальный ремонт 1 раз в год (наработка составляет 8640 ч.). Результаты заводских статических данных приведены в таблице 1.

#### **Данные наблюдений отказов компрессоров**

Таблица 1

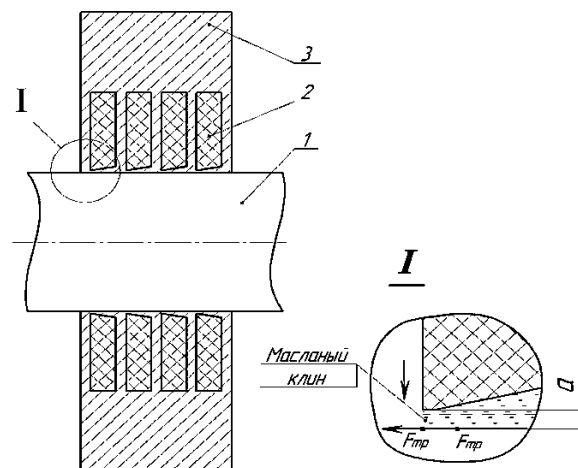
№	Тип компрессоров	Количество проведенных ремонтов				
		Капитальный ремонт	Малый ремонт	Текущий ремонт	Аварийный ремонт	Итого
1.	ГК – 1	1	2	2	-	5
2.	ГК – 2	1	3	-	2	6
3.	ГК – 3	1	2	-	1	4
4.	ГК – 4	1	2	-	-	3
5.	ГК – 5	1	2	-	1	4
6.	ГК – 10	1	2	2	1	6
7.	АК - 1	1	2	3	-	5
8.	АК – 2	1	2	-	1	4
9.	АК - 3	1	2	1	7	11

Практически при проведении каждого ремонта производилась такая

работа, как: 1) замена сальников; 2) задиры после шлифовки и риски на штоке шлифовальной шкуркой на месте или в ремонтно-механическом цеху; 3) замена изношенных штоков; 4) замена цилиндров.

Проведение научных исследований в настоящее время требует изучения не только качественной стороны и внешних характеристик, но и дополнения количественным измерением и их анализом. Это позволит уловить механизм происходящих процессов, успешно управлять ими и делать прогнозы.

Замена штоков производилась из – за наличия большой выработки в местах контакта с сальником (твердый). Сальники такие менялись вследствие их износа на сопрягаемой поверхности со штоком (рис. 22). В случаях, шлифование дефектных мест.



**Рис. 22. Схема трящихся поверхностей в контакте шток-сальник (твердый):**

1 – шток; 2 – сальник; 3 – кассета; а – зазор между сальником и штоком.

## **Выводы и постановка задачи исследований**

Анализ литературных, патентных и производственных материалы, а также результаты предварительных экспериментальных исследований показали:

1. На долговечность деталей существенное влияние оказывают микрогеометрические и физическое-механические параметров поверхностного слоя деталей машин приборов.

2. Обеспечение микрогеометрических и физическое-механические параметров обеспечивающих качественных показателей поверхностей, связанных с эксплуатационным свойствам, возможно обработкой методами пластического деформирования.

3. Один из возможных методов повышения долговечности за счет изменения свойств поверхности является обработка при помощи накатывания шариком.

4. Не установлены причины низкой долговечности деталей компрессорного оборудования Ферганского п/о “Азот”.

На основании проведенного обзора литературных и изучении производственных данных, а также предварительных экспериментальных исследований, посвященным вопросам накатывания поверхности шариком с целью повышения долговечности деталей, нами поставлены следующие задачи:

1. Исследовать в производственных условиях влияние геометрических и физических параметров качества поверхности деталей компрессорного оборудования на их долговечность.

2. Исследовать влияние активной среды на качество поверхности деталей компрессорного оборудования.

## **Анализ причин изнашивания сопрягаемых поверхностей**

Причины появления рисок и задиры на поверхность штока, а также износ по трущихся поверхностях может быть, следующие. Недостаточен или

отсутствует совсем масляный клин в месте касания штока и сальника при работе компрессора. Это связано с перетяжкой сальника при ремонте для ликвидации утечки газа и затем в период приработки происходит усиленный износ поверхностей при недостаточной смазке. Микрорельеф поверхности штока резко изменяется, наблюдаются завалы, что приводит к ускоренному истиранию. При изготовлении штока для упрочнения поверхностного слоя его рабочая поверхность подвергается штока во время ремонта азотированный слой невольно удаляется. Износостойкость такого штока будет резко понижена.

Шлифование поверхности штока сопровождается тем, что размеры и форма микронеровностей обработанной поверхности неоднократны, то есть наблюдается неоднородность микронеровностей. Степень неоднородности также снижает такие характеристики, как износостойкость, распределение смазки, усталостную прочность и др. Обследование поверхности штоков и сальников при заедании можно разделить на следующие виды повреждений:

1) надир (блесть - вид поверхности, имеющие неразличимые невооруженным глазом риски, расположенные в направлении относительного скольжения);

2) наличие тонких (начальных) рисок (неглубокие, короткие, редко расположенные риски, различимые невооруженным глазом);

3) наличие развитых рисок (более длинные и глубокие риски, близко расположенные друг к другу);

4) задир средней интенсивности (широкие, но не глубокие и не слитые борозды, расположенные в направлении скольжения);

5) сильная форма задира (широкие и глубокие борозды, слившиеся между собой, наличие вырывав - обрывов, нарост металла).

Переход от одной стадии заедания к другой обычно происходит последовательно.

В связи с неизбежными погрешностями штока и сальников условия трения по окружностям деталей различные, заедания их, как правило,



распространяется лишь на ограниченные участки рабочих поверхностей.

Согласно технологии изготовления штоков предусмотрено шлифование поверхности после упрочнения азотированием. Известно, что методы упрочнения поверхностного слоя требуют специального оборудования и являются дорогостоящими, так как после азотирования требуются шлифования. Это увеличивает расход на изготовлению. В связи с тем, что шлифование азотированной поверхности сопровождается тепловым эффектом, при котором на поверхность деталей образуются структурные концентраторы напряжений. Дальнейшее развитие таких концентраторов, вызывает, в начальных стадиях появление надиров, риски которых ориентируются в направлении шлифованным штрихам. Возможно появления фиолетовым свете прижжённые пятно на поверхностном участках.

При разрывах смазочной пленки в местах контакта (см. рис 22) происходит заедание, которое заключается в молекулярном сцеплении материалов трущихся деталей на участках непосредственного их контакта, в разрушении их контактов с вырыванием достаточно крупных частиц материалов, повреждающих контактирующие элементы. Здесь заеданию предшествовало сочетание больших скоростей и значительных давлений при вынужденной затяжке сальников.

Вынужденная затяжка сальника связана с эксплуатацией компрессоров и обеспечивает требуемый оптимальный зазор,  $a$  (см. рис. 22). Далее во время эксплуатации по мере изнашивания сальников их периодически подтягивает. Однако, вследствие того, что на рабочей поверхности сальников при заедании появляются задиры различных формах. Сохранения оптимального зазора почти невозможна. Наблюдается утечка газа. При дальнейшем затягивании сальников для соблюдения постоянства зазора происходит разрыв смазочной пленки в местах контакта. Что приводит к повышению коэффициента трения, скорость их изнашивания резко возрастает.

Таким образом, зазор между сальникам и штокам становится меньше

допустимого и условия смазывания не обеспечится.

Проведенный химический анализ смазки показал, что в составе смазки частиц нитридов не обнаружено, следовательно, они на изнашивание не влияют.

Все вышесказанное о причинах износа штоков в полной мере относится и к износу цилиндров. Здесь необходимо отметить, что цилиндры работают в более трудных условиях: повышенная температура в рабочей полости, больше попадает твердых микрочастиц, заносимых газом, агрессивная среда постоянно находится в соприкосновении с зеркалами цилиндров.

Долговечность деталей по износу можно повысить следующими путями:

- 1) обеспечением совершенного трения;
- 2) снижением влияния износа на работоспособность узлов и машин;
- 3) уменьшением износа конструктивными и технологическими мерами.

По нашему мнению, в данных условиях можно повысить долговечность штоков и сальников при помощи применения технологических мер. Заменяя традиционные отделочные методы методом поверхностного пластического деформирования, можно получить упрочненный слой поверхности без применения химико-термической обработки.

Некоторая особенность обработки лезвийными инструментами заключается в том, что часто требуется высокая квалификация рабочего, а получение высокого качества поверхности деталей пластическим деформированием возможно рабочим невысокой квалификации. Процесс накатывания шаровой деформирующей инструментом, обеспечивает понижение исходной шероховатости за один проход в 2 – 3 раз до 0,16 – 0,32 мкм и твердость материала при этом повышается на 4 – 10 единиц по Бринеллю. В этом случае неровности поверхности одновременно сглаживаются и уплотняются поверхностный слой на некоторую глубину (высоту). В связи с уплотнением поверхностного слоя металла увеличивается микротвердость – изменяются физические свойства 1 – 2 раза.

Для повышения долговечности деталей компрессорного оборудования типа штока и сальника предполагается применение технологической меры, а именно заменить химико-термическую обработку с последующим шлифованием, обработкой ППД при помощи шаровой деформирующим инструментом.

Таким образом, для конкретных материалов подбирая экспериментальным путем режимов накатывания, можно установить качественных показателей поверхностей деталей машин и приборов по требованиям.

## ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАНА ЭКСПЕРИМЕНТА

### 3.1. Построение математической модели в зависимости от величин неровностей (шероховатости) и нагрузки

Линейное уравнение регрессии имеет вид

$$y = b_0 + x_1 b_1$$

где,  $x$  – факторные признаки;

$y$  – результативный признак;

$b_0, b_1$  – коэффициенты уравнение регрессии.

Для определения коэффициентов используют метод наименьших квадратов, минимум функции будет:

$$K = \Sigma (y - b_0 - x b_1)$$

Система нормальных уравнений имеет вид:

$$n b_0 + b_1 \Sigma x = \Sigma y$$

$$b_0 \Sigma x + b_1 \Sigma x^2 = \Sigma yx$$

где,  $n$  – количество измерений.

Результаты экспериментов вносим в табл. 2. Табличные данные получены как функция  $x = \hat{f}(y)$ .

Таблица 2

$x,$ <i>кгс</i>	$y,$ <i>мин</i>	$x^2$	$xy$	$\bar{y}$ <i>расч.</i>	$y - \bar{y}$ <i>расч.</i>	$(y - \bar{y})^2$
25	8,2	625	205,0	8,33	0,13	0,0169
45	4,7	2025	211,5	4,27	0,43	0,1849
50	3,2	2500	160,0	3,26	0,06	0,0036
55	2,09	3025	114,9	2,24	0,15	0,0225
60	0,98	3600	53,8	1,22	0,24	0,0566
65	0,36	4225	23,4	0,21	0,15	0,0225
$\Sigma 300$	19,53	16000	773,6	-	-	3080

$$6 b_0 - 300 b_1 = 19,32$$

$$300 b_0 - 16000 b_1 = 773,6$$

$$b_1 = - 0,2029$$

$$b_0 = \frac{19.53 - 0.2029 \cdot 300}{6} = 13.4$$

$$y = 13,4 - 0,2029$$

### 3.2. Влияние давления на снижения исходных неровностей

Изучение зависимости упрочнения (прирост твердости) проведено при накатывания образцов из стали 45 (рис. 23).

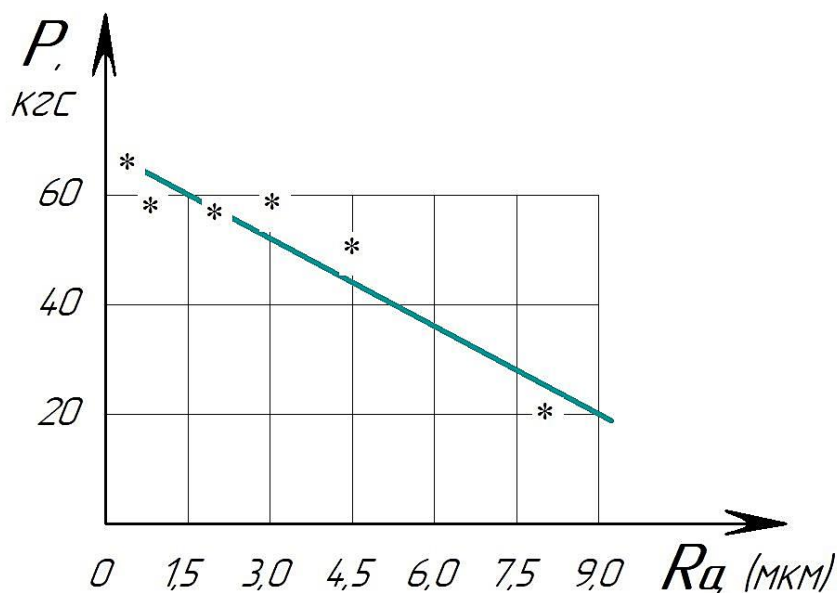


Рис. 23. График влияния давления на неровностей поверхностного слоя

Исходное шероховатость (неровность) с увеличением нагрузки и число проходов значительно понижается. Дальнейшее увеличение число проходов при постоянной нагрузке уменьшает высоту неровности до  $R_a = 0,4-0,025$  мкм. При давлениях, достигающих критического значения начинается шелушения, то есть разрушение поверхности. Сталь 45 содержит больше перлита, а большое влияние на упрочнение перлитной структуры оказывает дислокационный механизм.

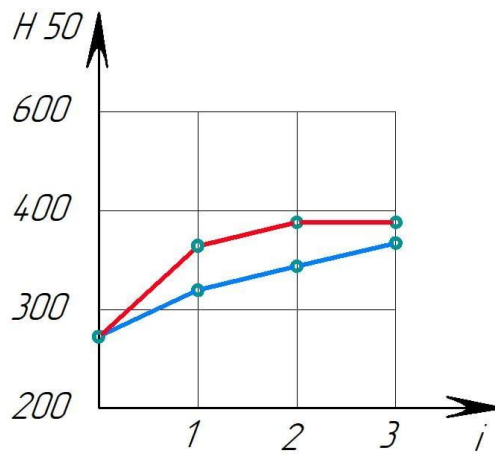
### 3.3. Влияние числа рабочих ходов и скоростей обработки на поверхностную твердость

Число рабочих ходов при накатывания наряду со скоростью обработки

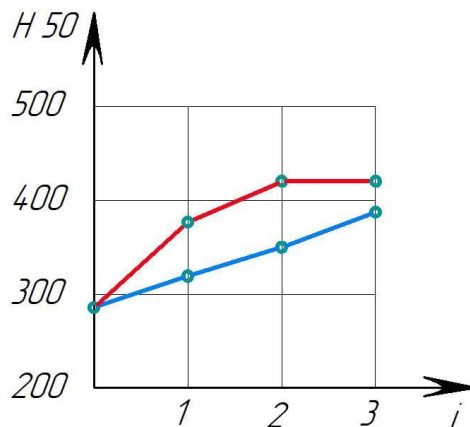
определяет производительность процесса, поэтому необходимо стремиться к получению требуемого упрочнения за один ход. При увеличении рабочих ходов соответственно возрастает количество повторных деформаций, приводящих к изменению поверхностной твердости. Однако влияние дополнительных рабочих ходов следует рассматривать с учетом давления. Если давление ниже оптимального, то повторение рабочие ходы (до определенного числа) повышает твердость. При этом допустимое, с точки зрения упрочнения, число рабочих ходов тем больше, чем ниже давление. При накатывании необходимое упрочнение при заданном контактом давлении достигается при определенном числе повторных деформации. Если число деформаций меньше требуемой твердости необходимо увеличить число рабочих ходов. Если не изменять число рабочих ходов нецелесообразно, необходимо повысить давление.

Таким образом, путем повторных рабочих ходов может быть повышена степен упрочнения, но не глубина. На основании рассмотренных данных следует рекомендовать обработку в один рабочий ход при достаточно большом давлении. Только при давлениях в контакте значительно ниже оптимальных целесообразно производить два и – три рабочих ходов. В ряде случаев для получения требуемой степени упрочнения поверхностного слоя за один рабочий ход необходимо уменьшить подачу.

Степень влияние подачи на остаточные напряжения зависит от контактного давления. Анализ экспериментальных данных показывает, что наиболее благоприятная напряженность образуется при обработке с подачами, рекомендуемыми для получения равномерного упрочнения.



**Рис. 24. Влияние сила давления и числа рабочих ходов на микро-твердость образца изготовленной типа вала  $\varnothing 80$  мм, из стали 45, накатник диаметром шара  $\varnothing 20$  мм, силой: 1 – 520 Н; 2 – 670 Н;  $n$  – 630 об/мин.**



**Рис. 25. Влияние давления и числа рабочих ходов на микро-твёрдость, в качестве образца принять материал, сталь 45, тип изделия вал  $\varnothing 80$  мм, диаметр накатного шара  $\varnothing 20$  мм, сила давления (1) – 670 Н; (2) – 520 Н; частота вращения заготовки  $n = 400$  об/мин.**

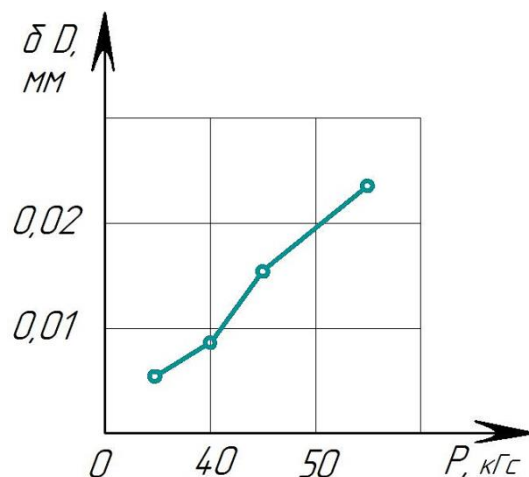
При высоких давлениях, когда имеет место перенаклеп, повторные рабочие ходы снижают величину напряжения. Результаты исследования влияния скорости обработки убеждают, что применение высоких скоростей не всегда целесообразно. По данным исследований Папшева Д.Д. – если при скоростях 186 м/мин величина у поверхности снижалась до 25 кгс/мм<sup>2</sup>.

### 3.4. Неровность (шероховатость) поверхности и точность обработки

Неровность(шероховатость) поверхности оказывает большое влияние на эксплуатационные свойства изготавливаемых штоков. При снижении неровности опыты на пределе выносливости, на износостойкости и сопротивляемость также выкрашиванию показывали на поверхностному слою деталей обработанных ППД образуется новая поверхность с **микроволной**, образующийся на поверхностях детали зависящей от жесткости станочной системы. Существующее представление о микро-волнистости, как след рабочего движения шарового деформирующего инструмента и является далеко не точным вследствие искажений, вызываемых пластическим течением металла от места контакта инструмента с деталью. Схемы образованных микро-профилей получен профилометром – П240М, снятым с поверхности детали, изготовленные из материала сталь 45.

В начале обработки при первом обороте образуется канавка с волнами по обеим сторонам. При втором обороте детали в связи с перемещением инструмента на величину подачи образуется вторая канавка, глубина которой больше первой, так как вследствие уменьшается контактная площадь между инструментом и деталью увеличивается контактное давление. Образование последующих канавок производится таким же образом. Зона пластического смещения металла, являющейся своего рода вольной, возникающей в направлении, противоположном подаче инструмента.





**Рис. 26. Изменение диаметра в зависимости от силы накатки, P, Н**

На высоту неровностей, образующихся при накатки и выглаживания, большое влияние оказывает давления в контакте, продольная подача, размеры деформирующего инструмента, исходная шероховатость поверхности и физико-механические свойства материала обрабатываемого вала. Остальные параметры на шероховатость обработанной поверхности влияют незначительно.

С увеличением давления обкатанная поверхность становится менее шероховатой. Минимальные неровности образуются при оптимальном давлении, обеспечивающим их наибольшую деформацию и зависящем от их свойств материала, размеров деформирующего инструмента и состояния исходной поверхности. Этот метод со своей преимущественно овладело своим место практичности и экономичности

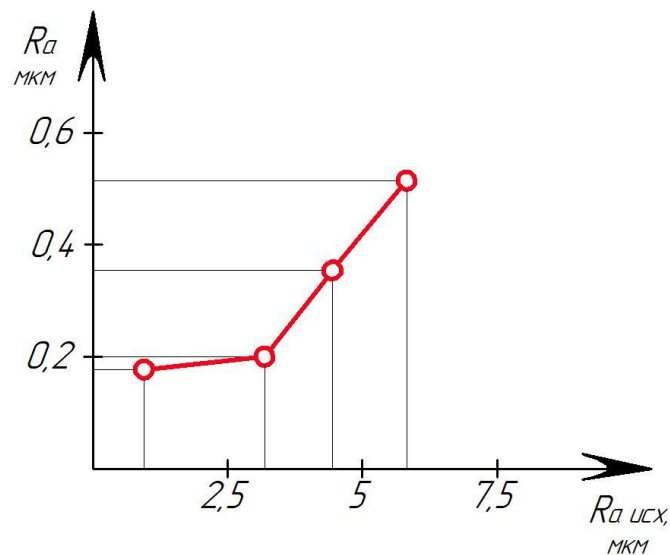
Высота неровностей прямо пропорциональная величине подачи во второй степени и обратно пропорциональна радиусу шарика:

$$R_z = \frac{S^2}{8R}$$

Необходимо предусмотреть, чтобы операция, предшествующая накатыванию, обеспечила получение неровностей в допустимых пределах. Поскольку снижение шероховатости поверхности при обработке резанием

удорожает стоимость изготовления деталей, важно установить их наибольшую допустимую высоту под накатывания. Результаты наших исследований показывают большую роль исходных ровностей. Их влияние сказывается с определенной величины, зависящей от давления и размеров деформирующего инструмента. Исходные неровности до 15 мкм влияют очень незначительно на величину шероховатостей обкатанной поверхности.

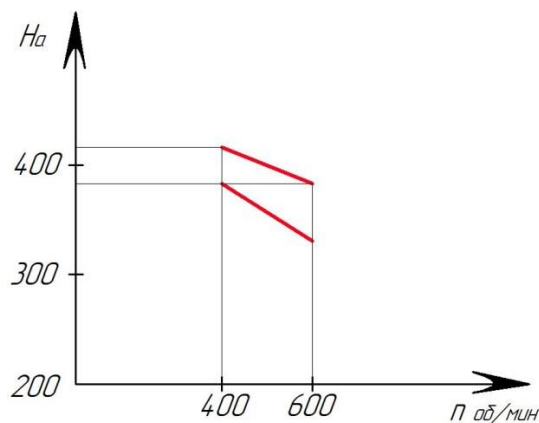
При накатывании более грубой исходной поверхности исходные шероховатости деформируются частично. В результате чего обработанная поверхность хуже, нежели в первом случае.



**Рис. 27. Влияние исходной шероховатости на шероховатость обработанной поверхности**

Нагрузка – 85 кГс, подача – 0,07 мм/об.

$$R_a^{кон} = f(R_a^{исх})$$



**Рис. 28. График зависимости микро-твёрдости от скорости обработки**

1 – (P = 670 Н, i = 3)

2 – (P = 520 Н, i = 3)

Поэтому при применения оптимальных давлений исходная шероховатость поверхности не должна превышать 15 – 20 мкм. При таком условии накатывания обеспечивает поверхность с  $R_a = 0,15$  мкм. Для  $R_a = 0,5$  мкм высота исходной поверхности может быть увеличена до 30 мкм.

Некоторое влияния на шероховатость поверхности оказывает скорость и число рабочих ходов при накатывания. Для получения более низкой шероховатости целесообразно производить накатывание со скоростью 50 – 100 м/мин. При такой скорости достигается и сравнительно высокая производительность. И так как к штокам компрессорного оборудования предъявляются особые требования целесообразно выполнять два – три рабочих хода. Скорость накатывания:

$$v = \frac{\pi D n}{1000}; \quad n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 50}{3.14 \cdot 80} = 199.04$$

$n = 199,04$  об/мин – принимает ближайшее значение по станку

$$n = \frac{1000 \cdot 100}{3.14 \cdot 80} = 398.08 \text{ об/мин}$$

Назначать режим обработки следует в этих пределах.

### 3.5. Тарирования графика

Построение математической модели объекта исследований обычно проводится в случаях, когда выход за пределы объекта исследований, области предполагаемого эксперимента не имеет смысла. Задачу построения объекта исследований формируют на математическом языке, как задачу получения некоторого представления о функции цели. Функцию цели обычно аппроксимируют полиномом:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i x_i + \sum_{ij=1}^K b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^K b_{ii} x_i^2 + \dots \quad (1)$$

где,  $\hat{y}$  – расчетное значение параметра оптимизации;

$x_i, x_j$  – факторы, которые решено тарировать при проведении эксперимента;

$b_0, b_i, b_j$  – коэффициенты регрессии.

Функция, отображающая статическую связь между факторами называется также уравнением (1). Если в таком уравнении связываются лишь два признака, то это уравнение парной регрессии, если оно отображает зависимость результативного признака от двух или более факторных признаков – это уже уравнение множественной регрессии.

При отыскании функции (1) графическое изображение статической связи. Полученная ломаная регрессия дает исследователю указания, какую функцию для отображения связи необходимо принять. Считаю, что увеличение результативного и факторного признаков в арифметической прогрессии при прямой связи требует применения линейной, и при обратной – гиперболической регрессии.

Нахождение уравнения регрессии означает прежде всего определение его коэффициента. При этом исходят из правила наименьших квадратов, по которому сумма квадратов, отклонение фактических значений результативного признака “у” от значений, найденных по уравнению регрессии должна быть

наименьшей:

$$\Sigma (y - \bar{y})^2 = \min \quad (2)$$

Это условие приводит к системе нормальных уравнений, решение которых позволяет определить коэффициенты уравнения регрессии.

Число нормальных уравнений на одно больше числа, входящих в уравнение регрессии факторов. Если известны коэффициенты уравнения, то подставляя в него значение факторных признака. Это делает удобным применение уравнения регрессии для прогнозирования величины результативного признака.

Само уравнение регрессии является собой метод обобщения и изучения действия одного или многих факторных признаков на результативный метод количественного выражения влияния отобранных факторов на изучаемый показатель, метод выбора модели связи между явлениями.

Уравнение регрессии геометрически интерпретируется при парной регрессии как прямая или кривая линия, при множественной регрессии как гиперповерхность в  $(n + 1)$  мерном пространстве, вокруг которой рассеяны фактические данные. Это уравнение показывает связь между признаками более точно, если оно построено на основании достаточно большого числа наблюдений для однородных экономических явлений.

Линейная парная регрессия, при изучении зависимости результативного признака лишь от одного факторного признака уравнения регрессии можно записать в виде уравнения прямой:

$$y = b_0 + b_1x \quad (3)$$

где,  $x$  – факторный признак;

$y$  – результативный признак;

$b_0, b_i$  – коэффициенты уравнения.

Для определения коэффициентов используют метод наименьших квадратов, минимум функции будет:

$$K = \Sigma (y - b_0 - b_1x)^2$$

Система нормальных уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} nb_0 + b_1 \Sigma x &= \Sigma y \\ b_0 \Sigma x + b_1 \Sigma x^2 &= \Sigma yx \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь  $n$  – количество изменений.

Рассмотрим пример математической модели исследования по данным таблицы, имея значения тарировки накатника.

Таблица 3

Нагрузка, P (кг)	Перемещение	Нагрузка, P (кг)	Перемещение
25	0,02	55	0,077
45	0,04	60	0,10
50	0,051	65	0,16

Таблица 4

x,	y,	x <sup>2</sup>	xy	$\bar{y}$	y - $\bar{y}$	(y - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup>
0,02	25	0,0004	0,5	7,432	17,568	308,63
0,04	45	0,0016	1,8	19,557	25,443	25,443
0,051	50	0,0026	2,55	26,229	23,771	565,06
0,077	55	0,0059	4,235	42,001	13,	169,
0,10	60	0,01	6	55,953	4,047	16,5
0,16	65	0,025	10,4	92,349	27,349	747,96
0,448	300	0,0455	25,485			

Составляем систему уравнений, пользуясь расчетными данными таблицы:

$$\begin{aligned} nb_0 + b_1 \Sigma x &= \Sigma y \\ b_0 \Sigma x + b_1 \Sigma x^2 &= \Sigma yx \\ y &= b_0 + b_1 x \end{aligned}$$

$$\begin{cases} 6 b_0 + 0,448 b_1 = 300, \\ 0,448 b_0 + 0,0455 b_1 = 25,485 \end{cases}$$

Ее решение дает получения коэффициента уравнения

$$\begin{cases} b_1 = \frac{300 + 6b_0}{0,448} \\ 0,448b_0 + 0,0455 \left( \frac{300 + 6b_0}{0,448} \right) = 25,484 \end{cases}$$

$$0,448 b_0 + 30,46 + 0,609 b_0 = 25,484$$

$$1,057 b_0 + 30,45 = 25,484$$

$$1,057 b_0 = - 4,976$$

$$b_0 = - 4,707$$

$$b_1 = \frac{300 + 6 \cdot (-4,707)}{0,448} = 606,602$$

коэффициенты уравнение регрессии

Отсюда наше уравнение имеет вид:

$$\hat{y} = - 4,707 + 606,602 x$$

$$\hat{y}_1 = - 4,707 + 606,602 \cdot 0,02 = 7,432$$

$$\hat{y}_2 = - 4,707 + 606,602 \cdot 0,04 = 19,557$$

$$\hat{y}_3 = - 4,707 + 606,602 \cdot 0,051 = 26,229$$

$$\hat{y}_4 = - 4,707 + 606,602 \cdot 0,077 = 42,001$$

$$\hat{y}_5 = - 4,707 + 606,602 \cdot 0,10 = 55,953$$

$$\hat{y}_6 = - 4,707 + 606,602 \cdot 0,16 = 92,349$$

Смотрим график ломанной регрессии по полученным экспериментальным данным, строим график кривой, построенной по полученной математической модели.

### **3.6. Влияние исходной неровности на неровность поверхности после накатки (параболическая парная регрессия)**

Прямая парная регрессия, при которой результативный признак

увеличивается медленнее, чем факторный отображается уравнением параболы второго порядка:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2$$

Для определения коэффициентов исходят из метода наименьших квадратов.

Система нормальных уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} nb_0 + b_1\Sigma x + b_2\Sigma x^2 = \Sigma y \\ b_0\Sigma x + b_1\Sigma x^2 + b_2\Sigma x^3 = \Sigma xy \\ b_0\Sigma x^2 + b_1\Sigma x^3 + b_2\Sigma x^4 = \Sigma xy^2 \end{cases}$$

Параметры коэффициентов внесены в таблицу 5

Таблица 5

<b>x</b>	<b>y</b>	<b>x<sup>2</sup></b>	<b>xy</b>	<b>x<sup>3</sup></b>	<b>x<sup>4</sup></b>
1,25	0,17	1,56	0,21	1,95	2,44
2,5	0,18	6,25	0,45	15,62	39,06
4,7	0,3	22,09	1,41	103,82	487,9
6,4	0,41	41,47	2,62	262,14	171,97
8,1	0,52	65,61	4,21	531,44	4304,67
<b><math>\Sigma x = 22,95</math></b>	<b><math>\Sigma y = 1,58</math></b>	<b><math>\Sigma x^2 = 135,92</math></b>	<b><math>\Sigma xy = 8,9</math></b>	<b><math>\Sigma x^3 = 914,97</math></b>	<b><math>\Sigma x^4 = 6553,73</math></b>

Решаем систему уравнений:

$$5b_0 + 22,958 b_1 + 136,92 b_2 = 1,58$$

$$22,95 b_0 + 136,92 b_1 + 914,97 b_2 = 8,9$$

$$136,92 b_0 + 914,94 b_1 + 6553,77 b_2 = 79,3$$

$$b_1 = \frac{-5b_0 - 136,92b_2 + 1,58}{22,95}$$



подставляем  $b_1$  в систему уравнений, получаем:

$$22,95 b_0 = \frac{-5b_0 - 136,92 b_2 + 1,58}{22,95} \cdot 136,92 + 914,97 b_2 = 8,9$$

$$136,92 b_0 = \frac{-5b_0 - 136,92 b_2 + 1,58}{22,95} \cdot 914,97 + 6553,7 b_2 = 79,3$$

$$4 b_0 \cdot 136,92 + \frac{136,92 b_2 + 914,97}{22,95} + 6553,7 b_2 = 79$$

$$b_1 = \frac{-286,51 b_2 - 7,25 - 8,9}{242,26}$$

$$- 3749,41 b_2 + 43,26 + 914,97 b_1 + 6553,77 b_2 = 79,3$$

$$1543,43 b_1 + 2804,36 b_2 + 43,26 = 79,3$$

$$1543,43 = \left( \frac{-286,51 b_2 + 1,65}{242,26} \right) + 2804,36 b_2 + 43,26 = 79,3$$

$$1835,34 b_2 + 10,38 + 2804,36 b_2 + 43,26 = 79,3$$

$$939,36 b_2 + 53,64 = 79,3$$

$$939,36 b_2 = 25,66; b_2 = 0,026$$

отсюда находим

$$b_1 = - 0,023; b_0 = - 0,048$$

определяем положение точек решением уравнений, подставляя полученные значения:

$$y = - 0,048 + (- 0,023) \cdot 1,25 + 0,026 \cdot 1,56$$

$$y = 0,01$$

В общем виде уравнения имеет вид:

$$y = - 0,048 - 0,023 \cdot 8,1 + 0,026$$

$$y = - 0,048 - 0,023 \cdot 8,1 + 0,026 \cdot 65,61$$

$$y = 1,47$$

$$y = - 0,048 - 0,023 \cdot 4,7 + 0,026 \cdot 22,09$$

$$y = 0,42$$

$$y = - 0,048 - 0,023 \cdot 4,7 + 0,026 \cdot 6,25$$

$$y = 0,07$$

### **3.7. Влияние скорость накатывания и количества рабочих проходов на микротвердость поверхности**

Исследование влияния скорости на микротвердость поверхности показывает их заметное влияние. Установим степен воздействия скорости накатывания и количества рабочих проходов на поверхностную микротвердость.

Изучение степени влияния двух факторов (скорость и количество проходов) на результативный признак (микротвердость) проведенных при помощи дисперсионного анализа. Для анализа были приняты две скорости – 630 и 400 об/мин и количество проходов – 1 и 3. Эксперименты производились в учебно-производительной лаборатории Ферганского политехнического института.

Таким образом, рассматриваем влияние скорости накатывания (фактор А) и количество рабочих проходов (фактор В) на микротвердость поверхности. Скорости накатывания разбиваем на две группы:

$$A_1 = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 630}{1000} = 158,3 \text{ м/мин}$$

$$A_2 = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 400}{1000} = 62,8 \text{ м/мин}$$

Количество проходов составляет два вида: 1 и 3.

Эксперимент проводим по следующему статическому комплексу смотри таблицу 6.

Таблица 6

Группы по признаку А	А <sub>1</sub>		А <sub>2</sub>	
Группы по признаку В	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>
Варианты результативного признака	у <sub>1</sub> , у <sub>2</sub> , у <sub>3</sub>	у <sub>4</sub> , у <sub>5</sub> , у <sub>6</sub>	у <sub>7</sub> , у <sub>8</sub> , у <sub>9</sub>	у <sub>10</sub> , у <sub>11</sub> , у <sub>12</sub>

Расчет дисперсии по сочетанию факторов проводим по схеме, представленной в таблице.

Расчет данных для определения дисперсии берем из таблицы и находим три основные дисперсии:

$$H = \frac{(\sum y)^2}{n} = 3197400$$

$$D_y^2 = 3230632 - 3157400 = 33232$$

$$D_z^2 = 3230632 - 3211201,7 = 19430,3$$

$$D_x^2 = 3211201,7 - 3197400 = 13801,7$$

где:  $D_y^2 = \sum y^2 - H$

$$D_z^2 = \sum y^2 - \sum h$$

$$D_x^2 = \sum h - H$$

### Схема расчета дисперсии по сочетанию факторов

Таблица 7

Показатели	А <sub>1</sub>	
	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>
Варианты	у <sub>1</sub> , у <sub>2</sub> , у <sub>3</sub>	у <sub>4</sub> , у <sub>5</sub> , у <sub>6</sub>

Среднее $\bar{y}$	$\bar{y}_1 = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}$	$\bar{y}_2 = \frac{y_4 + y_5 + y_6}{3}$
$\bar{y}_A$	$\bar{y}_{A1} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_6}{6}$	$\bar{y}_{A2} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_7}{6}$
Отклонения		
$(\bar{y} - \bar{y})$		
$(\bar{y}_A - \bar{y})$		
$(\bar{y}_B - \bar{y})$		
$(y - y) -$		
$-(y_A - y) -$		
$-(y_B - y)$		
Квадраты		

продолжение таблицы 7

Показатели	A <sub>2</sub>	
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
Варианты	y <sub>7</sub> , y <sub>8</sub> , y <sub>9</sub>	y <sub>10</sub> , y <sub>11</sub> , y <sub>12</sub>
Среднее $\bar{y}$	$\bar{y}_3 = \frac{y_7 + y_8 + y_9}{3}$	$\bar{y}_4 = \frac{y_{10} + y_{11} + y_{12}}{3}$
$\bar{y}_A$	$\bar{y}_{A3} = \frac{y_7 + y_8 + \dots + y_{12}}{6}$	$\bar{y}_{A4} = \frac{y_7 + y_8 + \dots + y_{12}}{6}$
Отклонения		
$(\bar{y} - \bar{y})$		
$(\bar{y}_A - \bar{y})$		
$(\bar{y}_B - \bar{y})$		
$(y - y) -$		
$-(y_A - y) -$		
$-(y_B - y)$		
Квадраты		

### Расчет данных для определения дисперсий

Таблица 8

Группа признака А	∅ 50 A <sub>1</sub> = 400		∅ 80 A <sub>2</sub> = 630		Σ
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> (i = 1)	B <sub>2</sub> (i = 1)	
Группа					

признака В					
у (H□)	321,362	412,412	321,362	321,362	
	321,362	362,412	412,321	412,362,	
	321,321	362,412	321,362	412,412	
$\Sigma y$	2008	2372	2099	2261	8760
$n_x$	6	6	6	6	24
$h = \frac{(\Sigma y)^2}{n_x}$	672010,66	937730,66	734300,16	867160,16	3211201,7
$\Sigma y^2$	674252	941064	740955	874361	3230632

Для вычисления факторных дисперсий строим дополнительную таблицу.

Используя данные таблицы находим недостающие дисперсии:

$$D_A^2 = \sum h_A - H = 3193400 - 3193400 = 0$$

$$D_B^2 = \sum h_B - H = 6327,05 - 6275,02 = 1248,16$$

$D_{AB}^2 = D_x^2 - D_A^2 - D_B^2$  – вычисляем дисперсию по сочетанию факторов

$$D_{AB}^2 = 13801,7 - 0 - 1242,16 = 1380,1$$

### Расчет данных по группам факторов

Таблица 9

Фактор А					Фактор В				
Группы	$n_g$	$\Sigma y$	$(\Sigma y)^2$	$h$	Группы	$n_g$	$\Sigma y$	$(\Sigma y)^2$	$h$
A <sub>1</sub>	12	4380	19184400	1598700,1	B <sub>1</sub>	12	4107	1686744,9	1405620,8
A <sub>2</sub>	12	4380	19184400	1598700,1	B <sub>2</sub>	12	4653	2165040,9	1804200,8
–	24	8760	38368800	3197400,2	–	24	8760	3851785,8	3209821,6

По расчетным дисперсиям находим степень совокупного влияния факторов:

$$\eta_x^2 = D_x^2 / D_y^2 = 0,415$$

Влияние  $\eta$  – показывают влияние на микротвердость сочетания факторов – 41,5%.

Степень влияние скорости (А):

$$\eta_A^2 = 0 - 0\%$$

Степень влияние количества проходов (В):

$$\eta_B^2 = 0,374 - 37,4\%$$

Величина

$$\eta_{\text{я}}^2 = 0,585 - 58,5\%$$

Степень влияния сочетаний факторов

$$\eta_x^2 = D_{AB}^2 / D_y^2 = 0,041 - 4,1\%$$

Отсюда замечаем, что влияние фактора скорости на поверхностную микротвердость является незначительным, большое воздействие оказывает фактор количество рабочих проходов.

### 3.8. Линейная модель эксперимент

Построением линейной модели занимаются в тех случаях, когда цель исследования – нахождение интерполяционной модели – уравнения, знание которого позволяет предсказывать значения критерия оптимизации в различных точках изучаемого факторного пространства. Когда того, линейную модель используют при расчете движения в области оптимизма, например, в случае поиска оптимизма методом крутого восхождения.

При построении линейной модели находят численное значение  $b_0$  и линейных коэффициентов уравнение регрессии:

$$\bar{y} = b_0 + \sum_1^K b_i x_i + \sum_1^K b_{ij} x_i x_j$$

где:  $\bar{y}$  – значение критерия;

$b_0$  – линейные коэффициенты;

$b_i, b_j$  – коэффициенты двойного взаимодействия факторов.

При составлении матрицы ПФЭ (полный факторный эксперимент) или двойных реплик учитывают кодирование факторов.

В процессе кодирования факторов осуществляется линейное преобразование координат факторного пространства с переносом начала координат в нулевую точку.

Используют здесь соотношение:

$$xi = \frac{C_i - C_{0i}}{E}$$

где:  $xi$  – кодированное значение факторов;

$C_i, C_{0i}$  – натуральные значение факторов (текущее значение);

$E$  – натуральное значение интервала варьирования фактора.

Таблица 10

№ опыта	Матрица планирования				Рабочая матрица		$\bar{y}$ (Ra)
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1 x_2$	$i(x_1)$	$i(x_2)$	
1	+	+	+	+	3	630	0,34
2	+	+	-	-	3	400	0,42
3	+	-	+	-	1	630	0,85
4	+	-	-	+	1	400	0,91

По результатам ПФЭ находим значение коэффициентов уравнения регрессии, в том числе свободного члена и коэффициентов, характеризующих линейные эффекты и эффектно взаимодействия факторов всех порядков:

$$\bar{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{1,2} x_1 x_2$$

где:  $b_0$  – свободный член;

$b_1, b_2$  – линейные коэффициенты.

При определении свободного члена в уравнении регрессии ( $b_0$ ) берут среднее значение параметра оптимизации в матрице:

$$b_0 = \sum_1^N \frac{y_u}{N} = \frac{2.52}{4} = 0.63$$

Линейные коэффициенты регрессии рассчитывают по формуле:

$$b_1 = \frac{\sum_1^N x_{iu} y_u}{\sum_1^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_1^N x_{iu} y_u}{N}$$

где:  $N$  – число опытов в матрице;

$x_{iu}$  – значение фактора  $b_i$  в исследуемом опыте.

$$b_1 = \frac{1}{4} (0,34 + 0,42 - 0,85 - 0,91) = -0,25$$

$$b_2 = \frac{1}{4} (0,34 + 0,42 + 0,85 - 0,91) = -0,032$$

$$b_{1,2} = \frac{1}{4} (0,34 - 0,42 - 0,85 + 0,91) = -0,005$$

$$y = 0,63 - 0,25x_1 - 0,032x_2 - 0,005x_1x_2$$

Определяем среднеквадратичные отклонения

$$\begin{aligned} S_1^2 &= \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \cdot \frac{1}{3-1} [(0,4 - 0,34)^2 + (0,31 - 0,34)^2 + (0,31 - 0,34)^2] = \\ &= \frac{0,0036 + 2 \cdot 0,0009}{2} = 0,0027 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_2^2 &= \frac{1}{3-1} [(0,42 - 0,36)^2 + (0,42 - 0,4)^2 + (0,42 - 0,5)^2] = \\ &= \frac{0,0036 + 0,004 + 0,0064}{2} = 0,0026 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_3^2 &= \frac{1}{3-1} [(0,80 - 0,85)^2 + (0,9 - 0,85)^2 + (0,85 - 0,85)^2] = \\ &= \frac{0,0025 + 0,0025 + 0}{2} = 0,00125 \end{aligned}$$



$$S_4^2 = \frac{1}{3-1} [(0,91-0,94)^2 + (0,91-0,69)^2 + (0,91-0,9)^2] =$$

$$= \frac{0,0009 + 0,0004 + 0,0001}{2} = 0,00035$$

$$\bar{S}_i^2 = \frac{27 + 26 + 12,5 + 3,5}{2} = 10^{-4} = 17,25 \cdot 10^{-4}$$

$$S_{bi}^2 = \frac{S_i^2}{4} = 0,00043 \quad S_{bi}^2 = \sqrt{0,00043} = 0,00207$$

$$|b| \geq S_{bi} \quad t = 0,00207 \cdot 4,3 = 0,0089$$

все коэффициенты значимы.

$$y = 0,63 - 0,25 \left( \frac{i-2}{1} \right) - 0,032 \left( \frac{n-515}{115} \right) - 0,005 \cdot \left( \frac{i-2}{1} \right) \left( \frac{n-515}{115} \right) =$$

$$= 0,63 - 0,25i + 0,5 - 278 \cdot 10^{-4}n + 0,1433 - 0,43 \cdot 10^{-4}in + 2,23 \cdot 10^{-2}i +$$

$$+ 0,870 \cdot 10^{-4}n - 4,478 \cdot 10^{-2} = 1,2285 - 0,2277 - 0,0002n - 0,00004in$$

$$\text{при } i = 1 \quad n = 400 \text{ об/мин}$$

$$y = 1,2285 - 0,2277 - 0,08 - 0,00016 \approx 0,91$$

$$\text{при } i = 1 \quad n = 630 \text{ об/мин}$$

$$y = 1,2285 - 0,2277 - 0,126 - 0,0252 \approx 0,85$$

$$\text{при } i = 3 \quad n = 630 \text{ об/мин}$$

$$y = 1,2285 - 0,6831 - 0,126 - 0,0756 \approx 0,34$$

$$\text{при } i = 3 \quad n = 400 \text{ об/мин}$$

$$y = 1,2285 - 0,6831 - 0,06 - 0,048 \approx 0,42$$

Оценка однородности

$$1) G_{расч} = \frac{S_{\max}}{\sum S_i^2} = \frac{0,0027}{0,0069} = 0,3913$$

## Критерий фишера

$$2) G_{\text{табл}} = 0,64$$

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{S_{\text{min}}^2} = \frac{0,0027}{0,00035} = 7,71$$

$$F_{\text{табл}} = 9,28$$

$$y = 0,63 - 0,25x_1 - 0,032 x_2 - 0,005 x_1 x_2$$

$$y_1 = 0,63 - 0,25 + 0,032 + 0,005 = 0,343$$

$$y_2 = 0,63 + 0,25 + 0,032 + 0,005 = 0,417$$

$$y_3 = 0,63 + 0,25 + 0,032 + 0,005 = 0,853$$

$$y_4 = 0,63 + 0,25 + 0,032 + 0,005 = 0,907$$

$$S_{xy}^2 = \frac{0,000009 \cdot 4}{1} = 0,000036$$

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{xy}}{S_i^2} = \frac{36 \cdot 10^{-6}}{17,26 \cdot 10^{-4}} = 0,02 < F_{\text{табл}}$$

Уравнение регрессии, адекватно

Определяем  $y(R_a)$  при  $i = 3 - const$ .

$$y = 1,2285 - 0,6831 - 0,0002 n - 0,00012 n = 0,5454 - 0,00032 n$$

при  $n = 1704 \text{ об/мин}$   $y = 0$

Это идеальный вариант

$$v = \frac{\pi d n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 800 \cdot 1704}{1000} = 428 \text{ мин}^{-1}$$

$$\text{при } n_1 = 630 \quad v = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 630}{1000} = 158,25 \text{ мин}^{-1}$$

$$\text{при } n_1 = 400 \quad v = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 400}{1000} = 100,48 \text{ мин}^{-1}$$

Можно рекомендовать на производства по требованиям.

## ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1. Расчет экономического эффективности

Согласно [22] экономическая эффективность при изготовлении и восстановления ремонта-требующих деталей машин и приборов с использованием метода ППД, следующие:

- ✓ трудоемкость отделочных операций уменьшается в 1,5 – 3 раза;
- ✓ скорость перемещения узла до 150 дж/мин
- ✓ стойкость рабочего инструмента свыше 100 часов;
- ✓ износостойкость обработанных деталей увеличивается в 1,5 – 2 раза;
- ✓ усталостная прочность увеличивается в 1,5 – 3 раза;
- ✓ срок службы деталей увеличивается в десять раз.

Расчет экономического эффективности при изменении технологии обработки штоков и гильз компрессорного оборудования.

Фонд заработной платы токарей:

$$Z_{pm} = Z_{ч} \cdot t_{ий.к} \cdot K_{зн} = 66 \cdot 849,6 \cdot 1,2 = 67288,32 \text{ сум.}$$

Фонд заработной платы расточников:

$$Z_{pm} = Z_{ч} \cdot t_{ий.к} \cdot K_{зн} = 75,4 \cdot 15765 \cdot 1,2 = 14251 \text{ сум.}$$

Фонд заработной платы шлифовальщиков:

$$Z_{pm} = 79,4 \cdot 315,75 \cdot 1,2 = 30084,66 \text{ сум.}$$

Фонд заработной платы фрезеровщиков:

$$Z_{pm} = 67 \cdot 3,03 \cdot 1,2 = 2436,12 \text{ сум.}$$

Фонд заработной платы строгальщиков:

$$Z_{pm} = 67 \cdot 6,6 \cdot 1,2 = 530,64 \text{ сум.}$$

Фонд заработной платы слесарей:

$$Z_{pm} = 67 \cdot 4866 \cdot 1,2 = 3912,26 \text{ сум}$$

Фонд заработной платы термистов:

$$Z_{pm} = 70,5 \cdot 42 \cdot 1,2 = 3553,2 \text{ сум.}$$

$$Z_{p \text{ общ}} = 122056 \text{ сум.}$$

Амортизационные расходы:

Токарные операции:

$$A_m = \frac{0,115 \cdot S_{ni}}{F} \cdot t_{ui.i} = \frac{0,115 \cdot 2000}{2030} \cdot 84960 \cdot 0,6 = 5775,6 \text{ сум.}$$

Расточные операции:

$$A_p = \frac{0,115 \cdot 4050}{2030} \cdot 15765 \cdot 0,6 = 2170 \text{ сум.}$$

Шлифовальные операции:

$$A_{ш} = \frac{0,115 \cdot 280,4}{2030} \cdot 703500 \cdot 0,6 = 6705 \text{ сум.}$$

Фрезерные операции:

$$A_{ф} = \frac{0,115 \cdot 16190}{2030} \cdot 3030 \cdot 0,6 = 1668 \text{ сум.}$$

Строгальные операции:

$$A_{см} = \frac{0,115 \cdot 3720}{2030} \cdot 600 \cdot 0,6 = 75 \text{ сум.}$$

Слесарные операции:

$$A_{сл} = \frac{0,115 \cdot 1000}{2030} \cdot 4489,5 \cdot 0,6 = 205,5 \text{ сум.}$$

Котельные и кузнечные операции амортизационные расходы очень минимальные и поэтому при расчете пренебрегаем.

$$A_{общ} = 16599 \text{ сум.}$$

Стоимость инструментов для выполнения вышеперечисленных операций будет

$$P_{общ} = \frac{S_{ni} + n_{ni} + C_{ни}}{T_{фи}(n_{ni} + 1)} \cdot t_{ос.ми} = 235650 \text{ сум.}$$

Тогда, сумма сопоставимых затрат, с учетом термиста составляет

$$C_I = Z_{р общ} + A_{общ} + P_{общ} + Z_{т общ} = 122056 + 16599 + 235650 = 374305 \text{ сум.}$$

$$C'_a = 113622 + 374305 = 487927 \text{ сум}$$

При применении ППД:

$$C'_a = (Z_{р общ} + Z_{р шл} + Z_{р тер} + Z_{р обк}) + (A_{общ} + A_{шл} + A_{тер} + A_{обк}) = (122056 -$$

$$30084 - 3552 + 4978) + (16599 - 6705 - 4443) + 952,5 = 99801,5 \text{ руб.}$$

где

$$A_{обк} = \frac{0,115 \cdot Sc_1}{F} \cdot t_{уй.i} = \frac{0.115 \cdot 2000}{2030} \cdot 8412 = 952,5 \text{ сум.}$$

$$n'_1 = n_1 - n_{ул} + n_{обк} = 235650 - 63570 + 4162,5 = 303382,5 \text{ руб.}$$

$$C'_{1n} = (86985 + 303382,5) \cdot 0,3 + 263232 = 380342,25 \text{ сум.}$$

Годовая экономия по технологической себестоимости составит:

$$\mathcal{E}_1 = (C_{1пол} - C'_{1пол}) = 487927 - 380342,25 = 112022,25 \text{ сум.}$$

## 4.2. Расчет ремонт оборудования

### Расчет годовых экономических затрат на ремонт узла единицы оборудования

Таблица 11

Показатели	ППП	ППД
Часы работы изделия в год (ч/год)	$T_{год1} = 7776 \text{ ч/год}$	$T_{год2} = 8208 \text{ ч/год}$
Средняя наработка изделия на один отказ (ч/отказ)	$t_{O1} = 7776 \text{ ч/отказ}$	$t_{O2} = 9849,6 \text{ ч/отказ}$
Кол-во ремонтов изделия в год	$n_{рем1} = \frac{T_{год1}}{t_{O1}} = 1 \text{ р/год}$	$n_{рем2} = \frac{T_{год2}}{t_{O2}} = 0,83 \text{ р/год}$
Средние затраты на один ремонт изделия (руб/рем)	$S_{p1} = C_{\kappa} + (Z_p + H_p) = 366150 + (729000 + 207000) = 1302150$	$S_{p1} = S_{p2} = 1302150$
Общие затраты на ремонт изделия (руб)	$S_{общ1} = n_{рем1} \cdot S_{p1} = 1302150$	$S_{общ2} = 0,83 \cdot 1302150 = 1080784,5$

Годовая экономия затрат на ремонт (руб)	$\begin{aligned} \mathcal{E}_p &= S_{общ1} - S_{общ2} = \\ &= 1302150 - 1080784,5 \\ &= 221365,5 \end{aligned}$	
--	---	--

Годовая экономика с учетом годовой программы

$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_p \cdot N = 221365,5 \cdot 20 = 4427310 \text{ сум}$$

Годовые убытки предприятия от простоев компрессорного оборудования

Таблица 12

Показатели	ППП	ППД
Общее кол-во ремонтов в год	1	0,975
Среднее календарное время (час)	432	432
Суммарное время простоя изделия в ремонте (час)	$T_1 = 432 \cdot 1 = 432$	$T_2 = 432 \cdot 0,975 = 421,5$
Суммарное время простоя изделия в год (час/год)	$T'_1 = T_1 - T_2 = 10,5$	
Убытки от одного часа простоя машины (руб)	$Y_1 = 63150$	$Y_2 = 63150$
Годовые убытки от простоя машины (руб)	$Y_{y61} = T_1 \cdot Y_1 = 63150 \cdot 432 = 27280800$	$Y_{y62} = 63150 \cdot 421,5 = 26617725$
Уменьшение убытков из – за ремонта первого изделия (руб)	$Y_{y6} = Y_{y61} - Y_{y62} = 27280800 - 26617725 = 663075$	

Годовая экономия:

$$\mathcal{E}_3 = \Delta Y_{y61} \cdot N = 663075 \cdot 10 = 6630750 \text{ сум}$$

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 = 112022,25 + 4427310 + 6630750 = 11170082,25 \text{ сум}$$

Экономия по основному производству за счет сокращения времени на ремонт (замена штока) после увеличения срока службы штока:

За один час простой компрессорного оборудования, убытка по основному производству по данному заводу обходится в среднем 500 рублей. Проверки по десятикратной повторности на десяти оборудованниях составлял 50 тысяч рублей.

Тогда, общая годовая экономия от внедрения результатов проведенных работ составляет:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = \mathcal{E}_{\text{общ}} + \mathcal{E}_{\text{ос. пр}} = 11170082,25 + 7500000 = 18670082,25 \text{ сумов.}$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Билик Ш.М. Микрогеометрия деталей машин. М.: Машиностроение, 1973.
2. Билик Ш.М. Пары трения металлопластмасса в машинах и механизмах. М.: Машиностроение, 1966.
3. Билик Ш.М., Ройтерштейн Э.Х. Чистовая обработка стальных закаленных деталей микропроводкой. М.: НИИ Информтехмаш, 1970.
4. Вишницкий А.Л., Ясногородский И.З., Григорчук И.П. Электрохимическая и электромеханическая обработка металлов. Л.: Машиностроение, 1971.
5. Грозин Б.Д., Драйгор Д.А. и др. Повышение эксплуатационной надежности деталей машин. М К.: Машгиз, 1960.
6. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М.: Машиностроение, 1975.
7. Драйгор Д.А. Влияние метода и режима механической обработки поверхности на предел усталости стали. Вестник машиностроения, №4, 1960.
8. Дунин-Барковский И.В. Пьезофилометры и измерение шероховатости. Машгиз, 1961.
9. Дьяченко П.Е., Слинко Б.Л. Влияние микрогеометрии поверхности на работу подшипников из свинцовистой бронзы, трение и износ в машине. Сб.уч. АН РФ, М л.: 1995.
10. Егоров М.Е., Дементев В.И., Дмитриев В.Л. Технология машиностроения. М.: Высшая школа, 1976.
11. Дьяченко П.Е., Якубсон М.О. Качество поверхности при обработке металлов резанием. Машгиз, 1951.
12. Елизаветин М.А., Сатель Э.А. Технологические способы повышения долговечности машин. М.: Машиностроение, 1969.
13. Исаев А.А. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием. ЦНИИТМАШ, Машгиз, 1950.
14. Каширин А.И. Предисловие к книге Г. Шлезингера “Качество поверхности”, Машгиз, 1947.
15. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения, М.: Высшая школа, 1974.



- 16.Кравцов А.Н. Исследование влияния микрорельефа деталей трущихся пар на их эксплуатационные свойства. “Кандидатская диссертация”, Л.: 1968.
- 17.Костюков А.А. Сопротивление воды движения судна. Судостроение,1966.
- 18.Крагельский И.В. Демкин Н.Б. Влияние шероховатости и свойства материала на фактическую площадь касания и сближения. Ст. “Качество поверхностей деталей машин” №5, АН РФ, 1997.
- 19.Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968.
- 20.Лебидинский Г.Г. Исследование зависимости некоторых эксплуатационных свойств подвижных соединений от микрорельефа контактирующих поверхностей. “Кандидатская диссертация” 1971.
- 21.Линник Ю.В., Хусу А.П. Математико – статическое описание неровностей профиля поверхности при шлифовании. Инженерский сборник, АН РФ, №20,1997.
- 22.Лурье Г.Б. Штенберг Я.И. Упрочняющая отделочная обработка рабочих поверхностей деталей машин поверхностным пластическим деформированием. Обзор. М.: 1971.
- 23.Краткий справочник нормировщика машиностроителя. Минск, “Белорусь”, 1976.
- 24.Барташев Л.В. Справочник конструктора и технолога по технико-экономическим расчетам. М.: Машиностроение, 1979.
- 25.Маталин А.А. Шероховатость поверхности деталей в приборостроении. Машгиз, 1949.
- 26.Маталин А.А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин. М.: Машгиз, 1963.
- 27.Михайлов В.Н. Сопротивление основных видов шероховатости наружной обшивки корпуса судна. Ст. “Теория корабля и экспериментальная гидромеханика судна”, № 39, Судостроение, 1961.
- 28.Мишин И.А. Долговечность двигателей. Л.: Машиностроение, 1968
- 29.Модзелевский А.А. Технология сборки подвижных соединений. М.: Свердловск, ГНТИМЛ, 1962.
- 30.Одинцов Л.Г. Исследование вибрационного обкатывания как метода повышения износостойкости деталей цилиндропоршневой группы транспортного двигателя. “Кандидатская диссертация”, М.: 1971.

31. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. М.: Машиностроение, 1970.
32. Подураев В.Н., Камалов В.С. Физико-химические методы обработки. М.: Машиностроение, 1973.
33. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка металлов. М.: Машиностроение, 1969.
34. Серенсен С.В. Проблема усталости и износостойкости деталей машин. Ст. “Повышение износостойкости и срока службы машин”. АН.: УССР, 1948.
35. Ужик Г.В. Методы испытаний и деталей машин на усталост. АН.: РФ, 1998.
36. Хусу А.П., Витенберг Ю.Р., Пальмов В.А. Шероховатость поверхностей, теоретико-вероятный подход. М.: Наука, 1975.
37. Частнов А.А. Влияние скорости скольжения и шероховатости цапфы на износ подшипников скольжения. Ст. “Качество поверхности деталей машин”. №4, АН РФ, 1996.
38. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1974.
39. Яширицин П.И. Влияние механической обработки на качество поверхности и долговечность деталей машин. Ст. “Прогрессивная технология машиностроения”, 1970.
40. Шнейдер Ю.Г., Рейнус А.Л., Ергенков А.И. Влияние качества металлической поверхности на усилие трения и герметичность уплотнительной пары. Журнал Вестник машиностроения, № 6, 1969.
41. Шнейдер Ю.Г. Трение и износ поверхностей с регулярным микрорельефом. Сб. “Повышение эксплуатационных свойств деталей поверхностным пластическим деформированием”. МДНТП, 1971.
42. Шнейдер Ю.Г. Методы учета надежности и долговечности при выборе технологического процесса чистовой обработки деталей. “Кандидатская диссертация”, 1968.
43. Шнейдер Ю.Г. Нормирование и контроль качества поверхности деталей машин. ЛДНТП, Л.: 1969.
44. Шнейдер Ю.Г. Качества поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин и приборов. ЛДНТП, Л.: 1963.

45. Шнейдер Ю.Г. Назначение и технологическое обеспечение чистоты поверхности и инструмента деталей технологического оснащения. Информ.-техника, листок №57, ЛДНТП, 1953.
46. Шнейдер Ю.Г. Технологическое обеспечение качества поверхности деталей машин и приборов. Л.: 1964.
47. Шнейдер Ю.Г. Холодная безштамповочная обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1967.
48. Шнейдер Ю. Г. Новые схемы и методы чистовой обработки металлов давлением //Ленинград. – 1967.
49. Шнейдер Ю. Г. Инструмент для чистовой обработки металлов давлением //Л.: Машиностроение. – 1971. – Т. 248.
50. Шнейдер Ю. Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства //Л.: Машиностроение. – 1972. – Т. 240. – С. 248.
51. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск: Высшая школа, 1970, под ред. Горбачевича
52. Мерданов Ш. М., Шефер В. В. Основы технологии машиностроения. – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Тюменский индустриальный университет, 2007.
53. ГОСТ 2789 – 73 на шероховатость поверхности. М.: Государственный комитет стандартов РФ, 1975.
54. ПГ 400 – 119 – 77 “Надежность в технике. Поверхности с регулярным микрорельефом. Параметры и характеристики”. Горький, РФ ВНИИИзмаш, 1977.
55. Рахштадт А. Г., Брострем В. А. Справочник металлиста //М.: Машиностроение. – 1976. – Т. 2. – С. 720.
56. Соколов В.Н. Основы экспериментальных исследований в химической технике. ЛТИ, 1978.
57. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. – Рипол Классик, 1979.
58. Булавинцева И. А. Машиностроительное производство //учебник для СПО/ИА Булавинцева.-Москва: Академия. – 2010. – Т. 170. – №. 1.
59. ГОСТ 18296-72 - Обработка поверхностным пластическим деформированием - Москва, 1972.
60. Попилов Л. Я. Новое в электрофизической и электрохимической обработке

материалов. – 1972.

- 61.Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник //М.: Машиностроение. – 1987. – Т. 328. – С. 1.
- 62.Холодкова А. Г. Общая технология машиностроения. – 2005.
- 63.Черепанов Ю. П., Самецкий Б. И. Электрохимическая обработка в машиностроении //М.: Машиностроение. – 1972. – С. 36-37.
- 64.Шнейдер Ю. Г. Технология финишной обработки давлением: Справочник //СПб.: Политехника. – 1998. – Т. 414.
- 65.Тураев Т. Т., Батиров Я. А., Тожиев Б. А. Ў. Модернизация процесса волочения проволочного изделия //Universum: технические науки. – 2019. – №. 3 (60). – С. 14-19.
- 66.Тураев Т. Т. и др. Параметры и характеристики шероховатости поверхности //Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2021. – Т. 1. – №. 11. – С. 124-132.
- 67.Turaevich T. T., Mirodilovich M. B., Abdulhakim O'g'li T. B. Physical Foundations Structural-Formation, Surface Layer Of Parts //The American Journal of Engineering and Technology. – 2020. – Т. 2. – №. 09. – С. 71-76.
- 68.Тураев Т. Т., Батиров Я. А., Мадаминов Б. М. Сравнительной оценки технического уровня станков и станочных систем //Збірник наукових праць ЛОГОΣ. – 2021.
- 69.Turaevich T. T., Anvarxodjaevich B. Y., Mirodilovich M. B. Choosing the Optimal Processing Method to Improve the Productivity of Machine Tools and Machine Systems //International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding. – 2021. – Т. 8. – №. 5. – С. 490-494.
- 70.Тураев Т. Т., Батиров Я. А., Мадаминов Б. М. Повышение эффективности разделения листовых материалов за счет снижения времени приработки инструмента //Universum: технические науки. – 2021. – №. 3-1 (84). – С. 70-73.
- 71.Turayev T. T., Akramov M. M. Mashina detallariga ishlov berishnig oqilona usulini tanlash mulohazalari //Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2022. – Т. 2. – №. 2. – С. 864-870.
- 72.Turaevich T. T. Different Features of Ball Knurling Tools //Eurasian Scientific Herald. – 2022. – Т. 8. – С. 12-16.

**Global Book Publishing Services (GBPS)**

**Global Book Publishing Services is an International Monograph & Textbook Publisher.**

**No part of this textbook report may be reproduced or transmitted in any form or by any means,**

**electronically or mechanically, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. English Language Tested textbook,**

**All the content of textbook report trademark and copyrighted by Global Book Publishing Services.**

**All the work done with all premium features.**

**Global Book Publishing Services is an trademark publisher of monograph. All rights reserved by Global Book Publishing Services.**

**Copyright 2022 by GBPS. All rights reserved.**

**Global Book Publishing Services**

**Publisher**

**1211 Polk St, Orlando, FL 32805, USA**

**October 2022**

- 1. Turayev Tirkash Turayevich (PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Fergana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan)**
- 2. Ergashev Dilmurod Adiljonovich (PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Fergana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan)**
- 3. Madaminov Bakhrom Mirodilovich (PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Fergana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan)**

## **Global Book Publishing Services (GBPS)**

### **Contact Us**

---

**Global Book Publishing Services (PUBLISHER)  
1211 POLK ST, ORLANDO, FL 32805, USA  
EMAIL - [info@scientificpublication.org](mailto:info@scientificpublication.org)**

