УДК 005.63

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЦИЛИНДРОВЫХ УЗЛОВ БУРОВЫХ НАСОСОВ

© 2025 Р.Ю. Некрасов, Ю.С. Клочков

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Статья поступила в редакцию 26.01.2026

В рамках статьи рассматривается проблема, связанная с тем, что существует противоречие, которое предполагает что использование процессов упрочнения (в том числе и поверхностного) приводит к тому, что одновременно с ростом износостойкости, прочности и других показателей качества по критерию функционального назначения, происходит одновременное снижение эффективности и устойчивости производства. В статье проведен анализ методов повышения уровня качества узлов трения по показателям функциональных свойств (на примере цилиндрового узла бурового насоса). В качестве инструмента для исследования был использован метод анализа иерархий. В результате анализа показано, что наилучшим сочетанием критериев обладает химико-термическая обработка. Предлагается использовать в качестве конструкционного материала для изготовления цилиндровых втулок серый чугун (с изначальной структурой из феррита и перлита). На поверхности чугуна формируется слой после поверхностного легирования. Для насыщения используется смесь оксидов легирующих элементов. В работе проведены предварительные исследования конфигурации слоя и оценка технического уровня предлагаемого решении. Установлено, что на поверхности соя имеется участок с повышенной обрабатываемостью (слой чистого феррита). Это дает возможность преодолеть высказанное выше противоречие. В качестве направлений для дальнейших исследований имеет смысл выявить технологические режимы и условия, позволяющие получить наиболее рациональную конфигурацию слоя.

Ключевые слова: Втулка, упрочнение, служебное назначение, эффективность производства, одновременное повышение.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-1-46-56
EDN: HXIZYN

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FEWN-2025-0005 Разработка методик определения материалов в качестве строительных конструкций, деталей и узлов оборудования нефтедобывающих предприятий в Арктической и Субарктической зонах России).

ВВЕДЕНИЕ

В конструкциях различных машин и механизмов достаточно широкое распространение получили узлы, в которых реализуется контактное взаимодействие между подвижными валами и втулками. Работа данной пары сопровождается механическим изнашиванием деталей. К типичным представителям данного класса изделий можно отнести гидравлические машины, в частности насосы поршневого типа. Буровые насосы типа УНБТ используются при бурении скважин [1,2]. При этом осуществление подачи бурового раствора осуществляется как раз посредством пары «поршень-цилиндр». Работа этого узла всегда сопряжена с высокой интенсивностью изнашивания контактирующих деталей. Причем проблема изнашивания втулки более серьезная ввиду того, что данная деталь дороже в производстве и ремонте [3,4].

С учетом того, что перекачиваемая жидкость (буровой раствор) имеет достаточно высокое содержание абразивных частиц, втулки цилиндров насосов УНБТ могут изготавливать из чугуна [5,6]. Также могут быть использованы методы упрочнения поверхностного слоя, которые основаны на разных эффектах воздействия [7-11]. Однако при этом могут возникнуть проблемы, которые заключаются в том, что после упрочнения необходимо проводить дальнейшую чистовую (финишную обработку). На рис. 1 приведены технические требования к рабочей части цилиндрового узла.

Из рис. 1 видно, что центральное отверстие требует чистовой обработки. Однако повышенная твердость поверхности неизбежно приводит к снижению эффективности производства и повышению риска брака. Необходимо рассматривать проблему с экономической точки зрения.

Некрасов Роман Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения. E-mail: nekrasovrj@tyuiu.ru
Клочков Юрий Сергеевич, доктор технических наук, доцент, и.о. ректора. E-mail: y.kloch@mail.ru

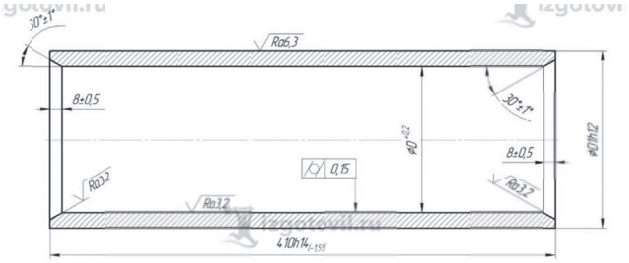

Рис. 1. Технические требования к рабочей части

На сегодняшний день около 80% затрат на жизненный цикл рассматриваемых машин приходится на долю составляющей, связанной с затратами на материалы. Как отмечают исследователи [11-13] для снижения данной составляющей необходимо внедрение высокотехнологичных машин. Однако при этом наблюдается одновременный рост других составляющих затрат, что снижает положительный эффект. Как уже показано выше, можно снизить данный уровень затрат за счет использования более дешевого материала и упрочнения поверхности. Однако при решении задачи снижения себестоимости работ возникают взаимоисключающие процессы, которые в конечном итоге не дают нужного эффекта. Например, внедрение высокотехнологичных машин приводит в свою очередь к повышению затрат на заработную плату, диагностирование, ремонт и т.д. Или повышение производительности приводит к росту затрат на быстроизнашивающиеся части, энергоресурсы и т.д.

В качестве характеристики эффективности ($J_П$) можно использовать функционал следующего вида [3,4]:

$$J_{\text{П}} = \int_0^{\text{T}} \frac{V(t)\cdot s(t)\cdot t_p(t)\cdot t_{\text{см}}}{(t+t_{\text{см}})}\,\text{dt}, \qquad (1)$$

где T – принимаемое заранее значение периода стойкости режущей части инструмента;

V, S, t – составляющие режима резания;

$t_{см}$ – затраты времени, которые порождены необходимостью замены режущего инструмента;

t – переменная времени (характеризует текущий его момент).

В ходе технологического процесса могут действовать возмущающие факторы, которые вызывают отклонения действительных показателей качества от требуемых. В качестве примера таких факторов можно выделить [5,6]:

– колебания свойств обрабатываемого материала;

– процессы, которые связаны с износом режущего инструмента;

– ошибки в настройке технологической системы;

– человеческий фактор.

Большинство технологического оборудования, которое используется на сегодняшний день в промышленной практике оснащается системами управления циклического типа [7,8]. При такой схеме работа станка реализуется просто как последовательность выполняемых команд без возможности отслеживания хода процесса. Функция контроля и коррекции возлагается на оператора (наладчика). Ряд исследователей [9-14] предлагает применение систем адаптивного управления и другие методы повышения эффективности обработки. Использование адаптивного управления дает возможность повысить величину эффективности, задаваемую выражением (1). Помимо адаптивного управления процессом (УП) можно выделить следующие направления повышения эффективности [13,14]:

– использование смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) дает возможность форсировать режимы резания и удлинить период стойкости инструмента;

– выполнение процедуры поиска оптимальных режимов резания (ОРР) позволяет повысить производительность, но не снимает ограничений по возникающим погрешностям;

– использование обработки с высокими скоростями резания (ВСС) повышает производительность, но также имеет ограничение по критерию времени t (см. выражение (1));

– поиск направлений в части совершенствования геометрических характеристик режущей части инструмента (СГИ) дает возможность прежде всего улучшить процесс образования стружки;

– использование материалов, позволяющих достичь увеличения стойкости инструмента (УИИ);

– применение покрытий, повышающих ресурс инструмента (ПИ).

Таким образом, можно сформулировать **цель работы** как разработка решений, позволяющих обеспечить одновременное повышение качества (по критерию функциональных свойств), а также эффективности и устойчивости производства деталей буровых насосов.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить ряд задач:

– провести анализ себестоимости жизненного цикла и определение направления для решения поставленной проблемы;

– выполнить комплексный технико-экономический анализ методов повышения качества цилиндровых узлов буровых насосов (по критерию функциональных свойств);

– провести исследований по повышению качества цилиндровых узлов буровых насосов с рабочей частью из чугуна с последующей оценкой достигнутого технического уровня;

– выполнить комплексный технико-экономический анализ методов повышения эффективности производства цилиндровых узлов буровых насосов и определить направления для совершенствования;

– разработать структурно-логическую модель формирования качества при производстве цилиндровых узлов буровых насосов на токарных станках с ЧПУ;

– сформулировать подход к реализации системы управления, дающей возможность на основе превентивного учета и компенсации возникающих погрешностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки эффективности целесообразно рассмотреть себестоимость эксплуатации машины, которую можно определить по следующей формуле [14]:

$$C_{маш-ч} = \frac{E}{T_0} + \frac{C_{Г.Д}}{T_Ч} + C_{Т.Э}, \quad (2)$$

где $C_{маш-ч}$ – себестоимость эксплуатации машины за один машино-час; E – единовременные затраты, в которые входит монтаж (демонтаж), транспортировка и другие вспомогательные затраты; T_0 – время нормальной работы на объекте; $C_{Г.Д}$ – годовые эксплуатационные затраты; СТ.Э – текущие эксплуатационные затраты.

Величина текущих затрат определяется следующим образом [14]:

$$C_{Т.Э} = C_{З.П} + C_{ТСМ} + C_{ТОРД} + C_{б.и}, \quad (3)$$

где $C_{З.П}$ – затраты на заработную плату оператора (машиниста); $C_{ТСМ}$ – затраты на энергоносители; $C_{ТОРД}$ – затраты на диагностирование и ремонт; $C_{б.и}$ – затраты на замену быстроизнашивающихся частей.

Величина годовых эксплуатационных затрат определяется с использованием метода амортизационных отчислений [12]:

$$C_{ГД} = \frac{C_Н H_а}{100}, \quad (4)$$

где $C_Н$ – стоимость машины; $H_а$ – коэффициент амортизации.

Величина $C_{маш-ч}$ функционально связана со значениями себестоимости единицы выполнения работ [14]:

$$C_{ЕД}^{ПР} = \frac{C_{маш-ч} + C_М}{П_Э}, \quad (5)$$

где $C_М$ – затраты на материал; $П_Э$ – часовая эксплуатационная производительность.

В качестве методов для повышения качества цилиндровых узлов буровых насосов (по критерию функциональных свойств) были рассмотрены:

- упрочнение механической обработкой (УМО);
- поверхностное пластическое деформирование (ППД);
- термическая обработка (ТО);
- химико-термическая обработка (ХТО);
- физико-техническая обработка (ФТО).

Сравнение производилось по критериям:

- толщина упрочненного слоя;
- необходимость финишной обработки;
- снижение обрабатываемости;
- экономичность;
- экологичность.

В качестве инструмента был использован метод анализа иерархий [15,16]. На рис. 2 приведена полная доминантная иерархия.

Упрочнение образцов из чугуна выполнялось в печи камерного типа. Образцы помещались в ящик для цементации, после чего засыпались смесью оксидов легирующих элементов и выдерживались при нагреве о температуры 1100 градусов Цельсия. Исследования микроструктуры и механических свойств выполнялись на шлифах.

Рассмотрение альтернатив для выбора направлений по повышению эффективности производства втулок цилиндровых для насосов УНБТ проводилось с использованием метода анализа иерархий [15,16]. На рис. 1 приведена полная доминантная иерархия по выбору направления для повышения эффективности производства втулок цилиндровых насосов УНБТ.

Для расчета коэффициентов сравнения при анализе направлений для повышения эффективности производства втулок цилиндровых насосов УНБТ было использовано специальное программное обеспечение, интерфейс которого приведен на рис. 4.

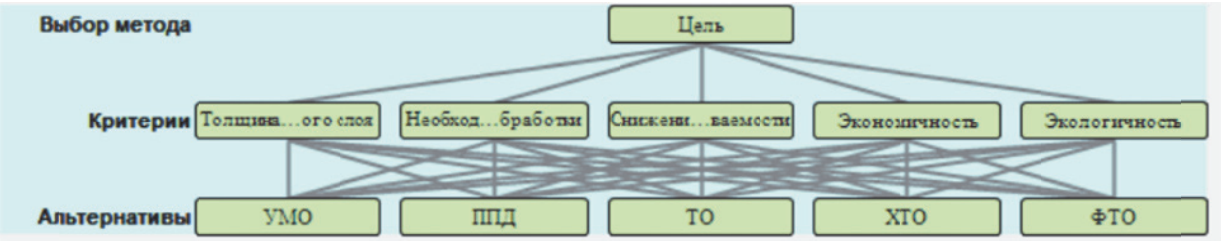

Рис. 2. Полная доминантная иерархия анализа методов повышения качества цилиндровых узлов буровых насосов (по критерию функциональных свойств)

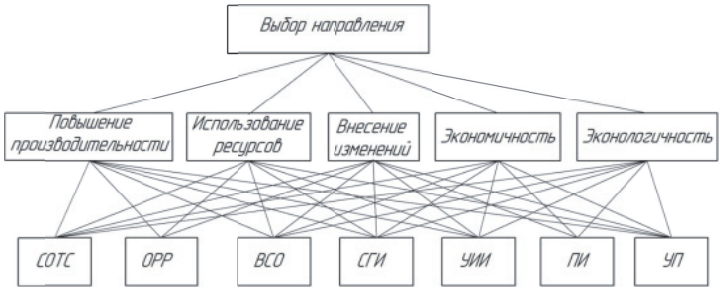

Рис. 3. Полная доминантная иерархия по выбору направления для повышения эффективности производства втулок цилиндровых насосов УНБТ

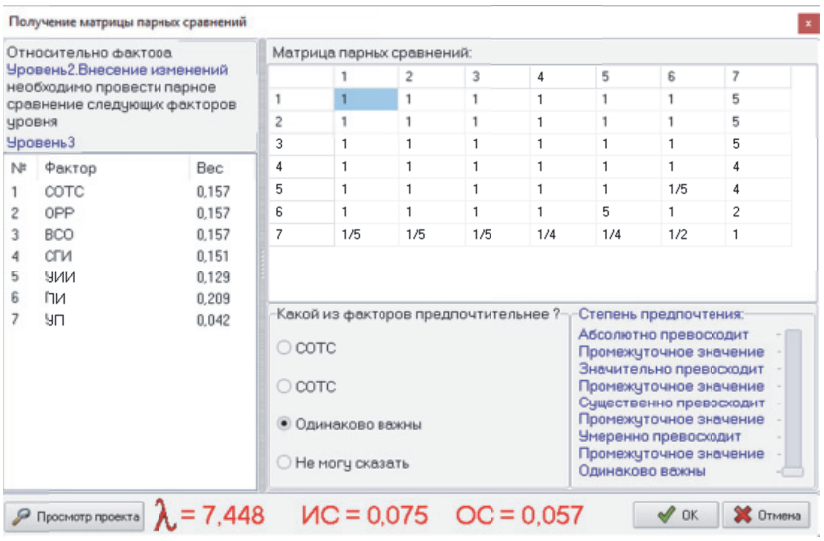

Рис. 4. Интерфейс программного обеспечения

Конкретные значения коэффициентов сравнения при анализе иерархий определялись с использованием экспертных оценок. Для анализа процессов формирования качества цилиндровых втулок насосов УНБТ в ходе механической обработки была разработана комплексная модель, структура которой приведена на рис. 5.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 6 приведена причинно-следственная диаграмма, полученная с учетом выражений (1)-(4).

Как видно из рис. 6 при решении задачи снижения себестоимости работ возникают взаимоисключающие процессы, которые в конечном итоге не дают нужного эффекта. Например, внедрение высокотехнологичных машин приводит в свою очередь к повышению затрат на заработную плату, диагностирование, ремонт и т.д. Или повышение производительности приводит к росту затрат на быстроизнашивающиеся части, энергоресурсы и т.д.

В этом свете, одним из эффективных путей снижения указанных выше негативных эффектов является снижение себестоимости эксплуатации машины $C_{маш\text{-}ч}$. Причем, анализируя зависимость (1), можно отметить, что основным ресурсом для снижения составляющей $C_{маш\text{-}ч}$ являются текущие затраты $C_{т.э}$. С учетом зависимости (2) можно сказать, что необходимо снижать прежде всего составляющую затрат на замену быстроизнашивающихся частей $C_{б.и}$ т.к. с одной стороны именно она

Рис. 5. Модель по представлению процессов формирования в ходе механической обработки

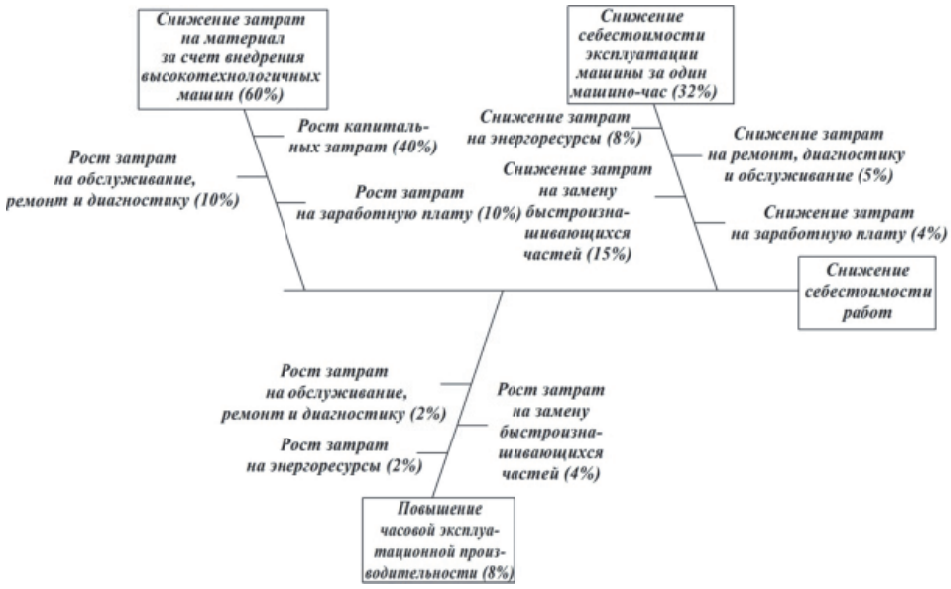

Рис. 6. Причинно-следственная диаграмма

определяется эксплуатационными аспектами, а с другой стороны оказывает влияние на величину времени нормальной работы машины T_0. Для того, чтобы снизить составляющую затрат нужно увеличить ресурс быстроизнашивающихся частей и при этом, снизить их стоимость. Учитывая, что наиболее частой причиной отказов буровых насосов является выход из строя цилиндровой втулки по причине износа поверхностного слоя, решение указанной выше задачи возможно за счет применения поверхностного упрочнения.

Однако в данном случае возникает еще одно противоречие: большинство методов поверхностного упрочнения вызывает изменения в точности детали, что в свою очередь, вызывает необходи-

мость чистовой обработки. При этом за счет повышенной твердости поверхностного слоя, обрабатываемость резанием снижается.

Выходом из данного противоречия можно считать получение такого упрочненного поверхностного слоя, который обеспечивает с одной стороны повышение твердости (а, следовательно, и износостойкости), а с другой обеспечивать хорошую обрабатываемость резанием. На рис. 7 приведен пример расчета коэффициентов сравнения [17,18].

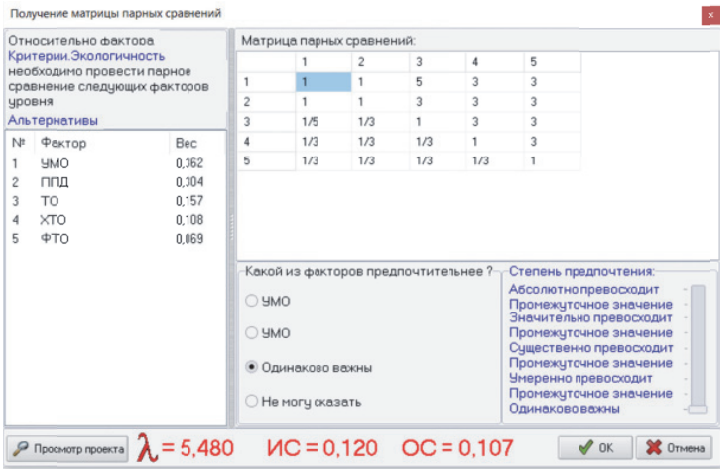

Рис. 7. Пример вычисления

На рис. 8 приведен результат вычисления коэффициентов сравнения при анализе методов повышения качества поверхности по критерии функциональных свойств.

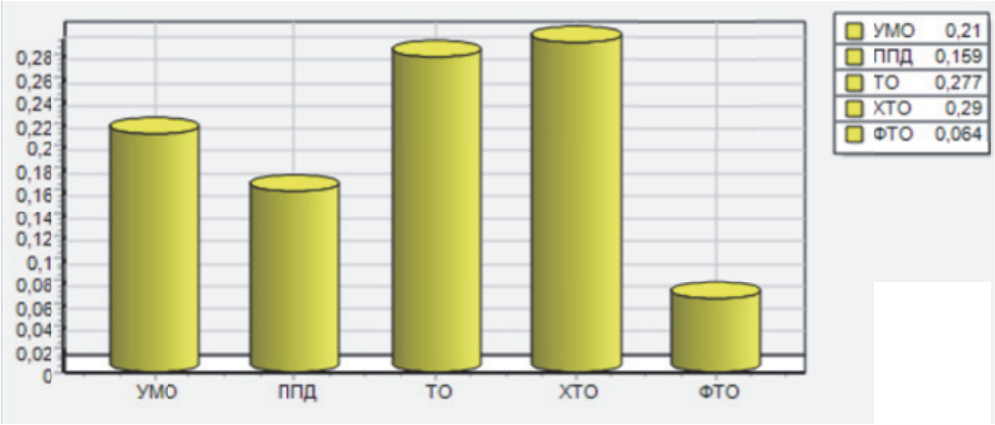

Рис. 8. Результат вычисления коэффициентов сравнения

Из рис. 8 видно, что наилучшим сочетанием критериев обладает способ химико-термической обработки. Однако в работах [19-25] установлено, что при использовании однокомпонентной насыщающей среды (содержащей оксиды хрома, молибдена и т.д.) получается неблагоприятная конфигурация упрочненного слоя (значение толщины дефектного слоя из чистого феррита составляет более 30% от общей толщины слоя).

В связи с этим для достижения требуемого результата необходимо чтобы выполнялась система условий, которая имеет вид:

$$\begin{cases} g \to \max \\ \mathrm{HV} \to \max, \\ J \to \max \end{cases} \tag{6}$$

где g – толщина упрочненного слоя; HV – микротвердость упрочненного слоя; J – эффективность изготовления.

Была рассмотрена возможность использования насыщающей среды, которая содержит смесь оксидов легирующих элементов. После проведения экспериментов и получения образцов, проводились металлографические исследования. В ходе исследований изучался фазовый состав слоя, а также влияние соотношения процентного содержания элементов в насыщающей смеси на конфигурацию слоя.

На рис. 9 приведена микрофотография и сведения о конфигурации упрочненного слоя.

Рис. 9. Результаты металлографических исследований

Использование смеси оксидов в различных пропорциях позволяет получать различные соотношения параметров зон 1 и 2 (см. рис. 10). Возникает важная задача определения рациональных условий, обеспечивающих одновременное повышение качества и эффективности производства.

На рис. 10 приведены результаты расчетов коэффициентов сравнения.

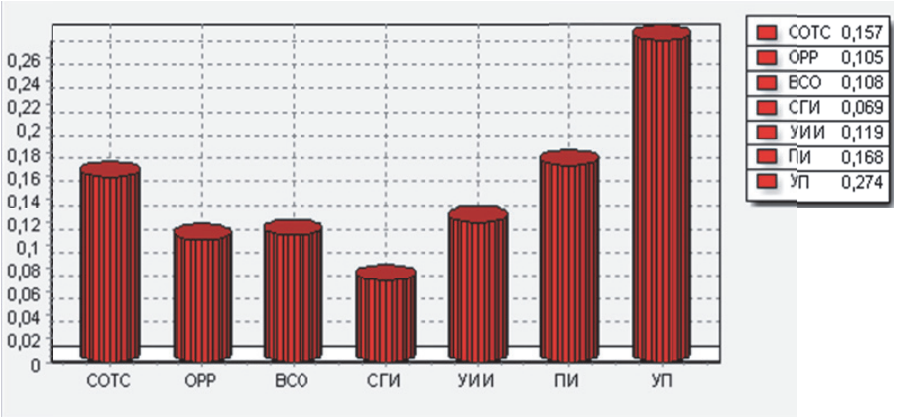

Рис. 10. Результаты расчетов коэффициентов сравнения

Из рис. 10 видно, что наилучшим сочетанием критериев при решении задачи повышения эффективности производства втулок цилиндровых является управление процессом. Однако практическая реализация данного решения требует системной проработки вопросов создания системы управления [17-20].

Для этих целей модель, представленная на рис. 3 была описана посредством системы логических выражений. Составляющие модели, которая представлена на рисунке 4 описываются выражениями языка математической логики. Основу составляет технологический процесс, который оказывает влияние на предмет производства (ТР) и на систему средств диагностики (D):

$$f_1 = P \Rightarrow M \wedge DO \ . \tag{7}$$

Функция f_1 описывает состояние, при котором технологический процесс выполняется, если это условие правдиво, то система геометрических параметров изделия (М) получает данные о форме изделия для дальнейшей их обработки, а также происходит постоянная передача данных о состоянии ТС в систему средств оперативной диагностики ТС (DO).

Ниже приведены описания наиболее важных элементов, касающихся обрабатываемого материала, состояния инструмента и режимов обработки.

Функция f_2 – это наличие информации о свойствах материала изделия в системе физико-механических характеристик материала изделия (F), принадлежащей подсистеме предметы производства (ТР). Если данное условие выполняется, то на основе этих данных проектируется технологический процесс (Р):

$$f_2 = F \in TP \Rightarrow P \ . \tag{8}$$

Если есть система физико-механических характеристик материала изделия (F), которая относится к предметам производства (ТР), то от нее информация о свойствах материала изделия будет передаваться к средствам обеспечения работоспособности инструмента (Е):

$$f_7 = F \in TP \Rightarrow E \ . \tag{9}$$

Аналогичным образом описываются и остальные элементы, итоговая функция задается выражением:

$$A\exists(f_1, f_2, f_3 \cdots f_{18}) \ . \tag{10}$$

Использование данного подхода позволяет определить требования к составу системы обеспечения эффективности изготовления деталей.

Для реализации проектируемой системы, на начальном этапе предлагается разделить диагностику на 2 отдельных этапа: 1. этап статической диагностики; 2. этап динамической диагностики. Этап статической диагностики (данные предварительной настройки станка) производится при ежедневном включении станка для «прогрева». Обычно при этом очищается буферное пространство системы ЧПУ, происходит обнуление систем координат с последующей дополнительной привязкой, т.е. своего рода корректировка по положению управляемого органа станка и его цифровая индикация. Добавив к стандартной процедуре данные, можно избежать погрешностей, вызванных с износом направляющих станка по координатам x, y в различных сечениях. В качестве данных можно использовать, также, температурные характеристики, пространственные отклонения, полученные в результате нагружения различных узлов станка и прочие. Эти данные накапливаются в специальной базе технологических знаний. На этапе динамической диагностики (диагностики в реальном времени), формируются данные о погрешностях, вызванных в процессе обработки. Полученные, на этапах статической и динамической диагностики, данные учитываются в предпрограммной настройке станка, основная задача которой – это формирование управляющей программы с внесением коррекций.

На рис. 11 приведена структура рассматриваемой выше двухуровневой системы, а на рис. 12 интерфейс ввода данных.

Рис. 11. Структура двухуровневой системы по повышению эффективности производства втулок цилиндровых

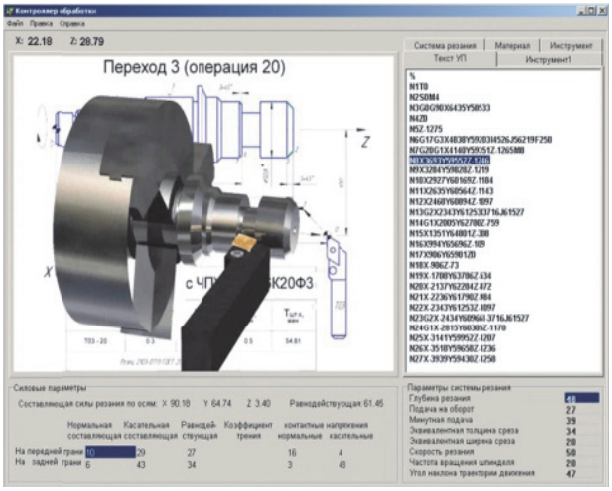

Рис. 12. Интерфейс ввода данных

ВЫВОДЫ

1. На основании использования причинно-следственной диаграммы было установлено, что проблема одновременного повышения качества цилиндровых узлов буровых насосов (по критерию функциональных свойств), эффективности и устойчивости производства может быть решена за счет формирования на поверхности упрочненного слоя с обратным распределением твердости.

2. В ходе исследований на основе метода анализа иерархий [24,25] было установлено, что наиболее пригодным способом для формирования слоя с обратным распределением твердости является химико-термическая обработка.

3. Установлено, что при использовании однокомпонентной насыщающей среды (содержащей оксиды хрома, молибдена и т.д.) получается неблагоприятная конфигурация упрочненного слоя (значение толщины дефектного слоя из чистого феррита составляет более 30% от общей толщины слоя). Использование смеси оксидов в различных пропорциях позволяет получать различные соотношения параметров зон с обратным распределением твердости и с повышенной обрабатываемостью.

4. В качестве направления для дальнейших исследований необходимо выявить рациональные технологические режимы, которые обеспечат выполнение системы условий, задаваемой выражением (5).

5. В ходе комплексной оценки с использованием метода анализа иерархий было установлено, что в качестве направления для повышения эффективности производства цилиндровых

втулок буровых насосов лучше всего применять подходы по совершенствованию управления процессом.

6. На основе построения комплексной модели с использованием математической логики были описаны процессы формирования требуемого качества при механической обработке втулок насосов УНБТ. В результате установлено, что обозначенную в предыдущем выводе систему целесообразно делать в двухуровневом исполнении.

7. Была разработана структура, программное и аппаратное обеспечение системы повышения эффективности производства цилиндровых втулок насосов УНБТ. Настройка системы происходит посредством предварительной диагностики. Данный подход позволяет учесть индивидуальные особенности каждой технологической системы [21,22].

8. Основные преимущества предлагаемой системы повышения эффективности производства втулок цилиндровых насосов УНБТ является то, что компенсация погрешностей выполняется превентивно. Иными словами нет необходимости во внесении конструктивных изменений в станок или средства технологического оснащения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яппаров, И. Х. Анализ отказов клапанного узла бурового насоса / И. Х. Яппаров // Современные технологии: достижения и инновации : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Стерлитамак, 22 марта 2019 года. – Стерлитамак: «Нефтегазовое дело», 2019. – С. 258-261..
2. Харисов, М. И. Обоснование направлений совершенствования клапанных пар поршневого бурового насоса с целью повышения их наработки на отказ и герметичности / М. И. Харисов, Ф. Ш. Забиров // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2019. – № 2. – С. 112-127.
3. Коднянко, М. Ю. Исследование работы быстроизнашиваемых узлов бурового насоса / М. Ю. Коднянко, А. А. Дубовский, Е. В. Коднянко // Актуальные вопросы машиноведения. – 2020. – Т. 9. – С. 195-198. .
4. Исхаков, И. Г. Анализ научно-технической и патентной информации по буровым насосам / И. Г. Исхаков, Ф. Ш. Забиров // Современные проблемы нефтегазового оборудования : Материалы Международной научно-технической конференции, Уфа, 04 декабря 2019 года. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2019. – С. 80-86.
5. Кучерявый, В. И. Статистическое моделирование ресурса быстроизнашивающихся элементов буровых насосов / В. И. Кучерявый, В. М. Юдин, С. Н. Мильков // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2003. – № 2. – С. 134.
6. Миннивалеев, Т. Н. Результаты промысловых испытаний гидромеханического компенсатора давления промывочной жидкости / Т. Н. Миннивалеев, Р. И. Сулейманов // Современные технологии в нефтегазовом деле - 2014 : Сборник трудов международной научно-технической конференции, Октябрьский, 14 марта 2014 года. Том 1. – Октябрьский: Аркаим, 2014. – С. 370-375.
7. Криштал, М.А. Структура и свойства сплавов, обработанных излучением лазера / М.А. Криштал, Л.А. Жуков, А.Н. Кокора. – М.: Металлургия, 1973. – 191 с.
8. Пат. 2176578 Рос. Федерация: МПК7: C21D5/00. Способ упрочнения чугунных деталей / Поляченко А.В., Евсеенко В.В.; заявитель и патентообладатель Поляченко А.В., Евсеенко В.В.. – № 2000112079/02; заявл. 17.05.2000; опубл. 10.12.2001. Бюл. № 34.
9. Веселовский, А.А. Термодиффузионное упрочнение деталей гидроцилиндров из серого чугуна алюминием и ванадием в порошковой среде: дис. … кандидата технических наук : 05.16.01 / А.А. Веселовский; [Место защиты: Магн. гос. техн. ун-т]. – Магнитогорск, 2008. – 147 с.
10. Гуревич, Ю.Г. Влияние катализатора (железа) на взаимодействие оксидов с основой феррито-перлитного серого чугуна, обеспечивающее закалку и диффузионное легирование: Монография / Ю.Г. Гуревич, В.Е. Овсянников, В.А. Фролов. – Курган: Изд-во КГУ, 2013. – 102 с.
11. Гуревич, Ю.Г. Легирование железа через газовую хлоридную фазу / Ю.Г. Гуревич, В.Я. Буланов, Н.В. Германюк. – Свердловск: Академия наук СССР. Уральское отделение, 1992. – 190 с.
12. Овсянников, В. Е. Экспертная система проектирования технологического оборудования / В. Е. Овсянников, В. И. Васильев // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 1-1(33). – С. 19. – EDN TXTLHP.
13. Анализ методов определения фрактальной размерности / В. И. Курдюков, А. К. Остапчук, В. Е. Овсянников, Е. Ю. Рогов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2008. – № 5(69). – С. 46-49. – EDN JVZBLH.
14. Овсянников, В. Е. Обеспечение долговечности рабочего оборудования строительно-дорожных машин при разработке грунтов с повышенными абразивными свойствами / В. Е. Овсянников, П. А. Корчагин. – Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, 2023. – 161 с. – ISBN 978-5-00113-224-0. – EDN BBIPQG.
15. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
16. *Александрова, Е. В.* Управление рисками в системе менеджмента качества образовательной организации / Е. В. Александрова, В. Е. Овсянников // Актуальные вопросы менеджмента и систем качества : Материалы региональной научно-практической конференции, Курган, 16 декабря 2016 года / Ответственный за выпуск В.В. Марфицын. – Курган: Курганский государственный университет, 2017. – С. 3-5. – EDN ZTXLFB.
17. *Pospehov, G. B.* Landslide susceptibility zonation using the analytical hierarchy process A case study of Guantanamo

Province / G. B. Pospehov, Yu. Savón, V. V. Moseykin // Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). – 2024. – No. 1. – P. 125-145.
18. *Остапчук, А. К.* Синергетический подход к определению отклика технологической системы на внешнее воздействие / А. К. Остапчук, В. Е. Овсянников // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 3(11). – С. 36-41. – EDN OIYAIF.
19. *Венедиктов, А. Н.* Определение эффективного коэффициента диффузии вакансий в ультрадисперсном электролитическом железе и его влияния на режимы термической обработки / А. Н. Венедиктов, В. Е. Овсянников, Н. Л. Венедиктов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21. – № 3. – С. 106-114. – DOI 10.17212/1994-6309-2019-21.3-106-114. – EDN XSECWF.
20. *Овсянников, В. Е.* Инженерно-психологическая оценка технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта на этапе проектирования / В. Е. Овсянников, В. И. Васильев // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 1(28). – С. 63. – EDN SJDUTF.
21. *Клочков, Ю. С.* Развитие метода развертывания функций качества на этапе проектирования продукции / Ю. С. Клочков, Н. О. Коваль // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26. – № 4-3(120). – С. 428-436. – DOI 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-428-436. – EDN OJMXWB.
22. Influence of Diffusional Surface Alloying on the Hardened-Layer Thickness for Gray-Iron Machine Parts / V. I. Vasil'ev, V. E. Ovsyannikov, R. Y. Nekrasov, Y. A. Tempel' // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38, No. 11. – P. 901-903. – DOI 10.3103/S1068798X18110187. – EDN VUSFYR.
23. *Lasukov, A.A. and Mokhovikov, A.A.* Influence of modified layer of tool on stress-strain state of cutting wedge, Proc. 7th Int. Forum on Strategic Technology, IFOST 2012,Tomsk, 2012, no. 6357720. EDN: RGGVIV
24. *Povetkin, V.V. and Kovenskii, I.M.* Struktura elektroliticheskikh pokrytii (The Structure of Electrolytic Coatings), Moscow: Metallurgiya, 1989.
25. *Maiorov, V.S. and Maiorov, S.V.* Solid laser hardening of iron parts, Met. Sci. Heat Treat., 2009, vol. 51, nos. 3-4, pp. 106-108. DOI: 10.1007/s11041-009-9125-9 EDN: MXCFDJ.

IMPROVING THE QUALITY OF WHEEL SET AXLES AT THE MANUFACTURING STAGE

© 2025 R.Yu. Nekrasov, Y.S. Klochkov

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

The article discusses the problem related to the fact that there is a contradiction that assumes that the use of strengthening processes (including surface) leads to the fact that simultaneously with the increase in wear resistance, strength and other quality indicators according to the criterion of functional purpose, there is a simultaneous decrease in the efficiency and stability of production. The article analyzed methods for improving the quality of friction assemblies by functional properties (using the example of a cylinder assembly of a drilling pump). A hierarchy analysis method was used as a research tool. As a result of the analysis, it was shown that chemical-thermal treatment has the best combination of criteria. It is proposed to use gray cast iron (with the original structure of ferrite and perlite) as a structural material for the manufacture of cylindrical bushings. Layer after surface alloying is formed on surface of cast iron. For saturation, a mixture of oxides of alloying elements is used. Preliminary studies of the layer configuration and assessment of the technical level of the proposed solution were carried out. It was found that on the surface of soybeans there is an area with increased workability (a layer of pure ferrite). This makes it possible to overcome the above contradiction. As directions for further research, it makes sense to identify technological conditions and conditions that make it possible to obtain the most rational layer configuration.
Keywords: Bushing, strengthening, service, production efficiency, simultaneous increase

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-1-46-56
EDN: HXIZYN

REFERENCES

1. *Yapparov, I. H.* Analiz otkazov klapannogo uzla burovogo nasosa / I. H. Yapparov // Sovremennye tekhnologii: dostizheniya i innovacii : Sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Sterlitamak, 22 marta 2019 goda. – Sterlitamak: \»Neftegazovoe delo\», 2019. – S. 258-261..
2. *Harisov, M. I.* Obosnovanie napravlenij sovershenstvovaniya klapannyh par porshnevogo burovogo nasosa s cel'yu povysheniya ih narabotki na otkaz i germetichnosti / M. I. Harisov, F. Sh. Zabirov // Elektronnyj nauchnyj zhurnal Neftegazovoe delo. – 2019. – № 2. – S. 112-127.
3. *Kodnyanko, M. Yu.* Issledovanie raboty bystroiznashivaemyh uzlov burovogo nasosa / M. Yu. Kodnyanko, A. A. Dubovskij, E. V. Kodnyanko // Aktual'nye voprosy mashinovedeniya. – 2020. – T. 9. – S. 195-198. .
4. *Iskhakov, I. G.* Analiz nauchno-tekhnicheskoj i patentnoj informacii po burovym nasosam / I. G. Iskhakov, F. Sh. Zabirov // Sovremennye problemy neftegazovogo oborudovaniya : Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii, Ufa, 04 dekabrya 2019 goda. – Ufa: Ufimskij gosudarstvennyj neftyanoj tekhnicheskij universitet, 2019. – S. 80-86.
5. *Kucheryavyj, V. I.* Statisticheskoe modelirovanie resursa bystroiznashivayushchihsya elementov burovyh nasosov / V. I. Kucheryavyj, V. M. Yudin, S. N. Mil'kov // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. – 2003. – № 2. – S. 134.

6. *Minnivaleev, T. N.* Rezul'taty promyslovyh ispytanij gidromekhanicheskogo kompensatora davleniya promyvochnoj zhidkosti / T. N. Minnivaleev, R. I. Sulejmanov // Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele - 2014 : Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii, Oktyabr'skij, 14 marta 2014 goda. Tom 1. – Oktyabr'skij: Arkaim, 2014. – S. 370-375.
7. *Krishtal, M.A.* Struktura i svojstva splavov, obrabotannyh izlucheniem lazera / M.A. Krishtal, L.A. Zhukov, A.N. Kokora. – M.: Metallurgiya, 1973. – 191 s.
8. Pat. 2176578 Ros. Federaciya: MPK7: C21D5/00. Sposob uprochneniya chugunnyh detalej / Polyachenko A.V., Evseenko V.V.; zayavitel' i patentoobladatel' Polyachenko A.V., Evseenko V.V.. – № 2000112079/02; zayavl. 17.05.2000; opubl. 10.12.2001. Byul. № 34.
9. *Veselovskij, A.A.* Termodiffuzionnoe uprochnenie detalej gidrocilindrov iz serogo chuguna alyuminiem i vanadiem v poroshkovoj srede: dis. ... kandidata tekhnicheskih nauk : 05.16.01 / A.A. Veselovskij; [Mesto zashchity: Magn. gos. tekhn. un-t]. – Magnitogorsk, 2008. – 147 s.
10. *Gurevich, Yu.G.* Vliyanie katalizatora (zheleza) na vzaimodejstvie oksidov s osnovoj ferrito-perlitnogo serogo chuguna, obespechivayushchee zakalku i diffuzionnoe legirovanie: Monografiya / Yu.G. Gurevich, V.E. Ovsyannikov, V.A. Frolov. – Kurgan: Izd-vo KGU, 2013. – 102 s.
11. *Gurevich, Yu.G.* Legirovanie zheleza cherez gazovuyu hloridnuyu fazu / Yu.G. Gurevich, V.Ya. Bulanov, N.V. Germanyuk. – Sverdlovsk: Akademiya nauk SSSR. Ural'skoe otdelenie, 1992. – 190 s.
12. *Ovsyannikov, V. E.* Ekspertnaya sistema proektirovaniya tekhnologicheskogo oborudovaniya / V. E. Ovsyannikov, V. I. Vasil'ev // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2015. – № 1-1(33). – S. 19. – EDN TXTLHP.
13. Analiz metodov opredeleniya fraktal'noj razmernosti / V. I. Kurdyukov, A. K. Ostapchuk, V. E. Ovsyannikov, E. Yu. Rogov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2008. – № 5(69). – S. 46-49. – EDN JVZBLH.
14. *Ovsyannikov, V. E.* Obespechenie dolgovechnosti rabochego oborudovaniya stroitel'no-dorozhnyh mashin pri razrabotke gruntov s povyshennymi abrazivnymi svojstvami / V. E. Ovsyannikov, P. A. Korchagin. – Omsk : Sibirskij gosudarstvennyj avtomobil'no-dorozhnyj universitet, 2023. – 161 s. – ISBN 978-5-00113-224-0. – EDN BBIPQG.
15. *Saati T.L.* Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij / T.L. Saati. – M.: Radio i svyaz', 1993. – 278 s.
16. *Aleksandrova, E. V.* Upravlenie riskami v sisteme menedzhmenta kachestva obrazovatel'noj organizacii / E. V. Aleksandrova, V. E. Ovsyannikov // Aktual'nye voprosy menedzhmenta i sistem kachestva : Materialy regional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii, Kurgan, 16 dekabrya 2016 goda / Otvetstvennyj za vypusk V.V. Marficyn. – Kurgan: Kurganskij gosudarstvennyj universitet, 2017. – S. 3-5. – EDN ZTXLFB.
17. *Pospehov, G. B.* Landslide susceptibility zonation using the analytical hierarchy process A case study of Guantanamo Province / G. B. Pospehov, Yu. Savón, V. V. Moseykin // Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). – 2024. – No. 1. – P. 125-145.
18. *Ostapchuk, A. K.* Sinergeticheskij podhod k opredeleniyu otklika tekhnologicheskoj sistemy na vneshnee vozdejstvie / A. K. Ostapchuk, V. E. Ovsyannikov // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – 2011. – № 3(11). – S. 36-41. – EDN OIYAIF.
19. *Venediktov, A. N.* Opredelenie effektivnogo koefficienta diffuzii vakansij v ul'tradispersnom elektroliticheskom zheleze i ego vliyaniya na rezhimy termicheskoj obrabotki / A. N. Venediktov, V. E. Ovsyannikov, N. L. Venediktov // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty). – 2019. – T. 21. – № 3. – S. 106-114. – DOI 10.17212/1994-6309-2019-21.3-106-114. – EDN XSECWF.
20. *Ovsyannikov, V. E.* Inzhenerno-psihologicheskaya ocenka tekhnologicheskogo oborudovaniya predpriyatij avtomobil'nogo transporta na etape proektirovaniya / V. E. Ovsyannikov, V. I. Vasil'ev // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2014. – № 1(28). – S. 63. – EDN SJDUTF.
21. *Klochkov, Yu. S.* Razvitie metoda razvertyvaniya funkcij kachestva na etape proektirovaniya produkcii / Yu. S. Klochkov, N. O. Koval' // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2024. – T. 26. – № 4-3(120). – S. 428-436. – DOI 10.37313/1990-5378-2024-26-4(3)-428-436. – EDN OJMXWB.
22. Influence of Diffusional Surface Alloying on the Hardened-Layer Thickness for Gray-Iron Machine Parts / V. I. Vasil\'ev, V. E. Ovsyannikov, R. Y. Nekrasov, Y. A. Tempel\' // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38, No. 11. – P. 901-903. – DOI 10.3103/S1068798X18110187. – EDN VUSFYR.
23. *Lasukov, A.A. and Mokhovikov, A.A.* Influence of modified layer of tool on stress-strain state of cutting wedge, Proc. 7th Int. Forum on Strategic Technology, IFOST 2012,Tomsk, 2012, no. 6357720. EDN: RGGVIV
24. *Povetkin, V.V. and Kovenskii, I.M.* Struktura elektroliticheskikh pokrytii (The Structure of Electrolytic Coatings), Moscow: Metallurgiya, 1989.
25. *Maiorov, V.S. and Maiorov, S.V.* Solid laser hardening of iron parts, Met. Sci. Heat Treat., 2009, vol. 51, nos. 3-4, pp. 106-108. DOI: 10.1007/s11041-009-9125-9 EDN: MXCFDJ.

Roman Nekrasov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: nekrasovrj@tyuiu.ru
Yuri Klochkov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Rector. E-mail: y.kloch@mail.ru