

матических сеялок импортного производства/ Н.А. Марьин, А.В. Каа //Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники-2012 -Выпуск25- с. 156-159

5. Лебедев, А.Т. Ресурсосберегающие направления повышения надежности и эффективности технологических процессов в АПК: монография/А.Т. Лебедев. - Ставрополь, 2012. - 377с.

6. Лебедев, А.Т. Анализ возможности организации восстановления работоспособности дисков высевающих аппаратов пневматических сеялок / А. Т. Лебедев, Н. А. Марьин, А. Н. Марьин, Е. Н. Королёва // Сборник научных трудов SWorld. – 2012. - Том6. – С.97-100.

#### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

*Лебедев А.Т., д.т.н., ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет г. Ставрополь, Российская Федерация*

*Марьин Н.А., аспирант, ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет г. Ставрополь, Российская Федерация*

*Марьин А.Н., к.с-х.н., ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет г. Ставрополь, Российская Федерация*

#### **РЕЦЕНЗЕНТ**

*Князева Лариса Геннадьевна, д.х.н., главный научный сотрудник лаборатории № 10 ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. Россия, г. Тамбов*

УДК 621.43.31/32.004.67

**ЛЕБЕДЕВ А.Т., ЛЕБЕДЕВ П.А.**

### **ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТНВД ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОСРЕДСТВ**

В современных экономических условиях перед сельскохозяйственными предприятиями стоят задачи производства высококачественной продукции и снижение ее себестоимости. При этом в структуре производственных затрат наибольшую долю (25...30%) занимают затраты на топливо, снижение которых позволит уменьшить себестоимость производимой продукции.

Специфика выполнения разнообразных сельскохозяйственных операций машинно-тракторными агрегатами (МТА) характеризуется тем, что до 90% общего времени энергосредства этих МТА, как правило дизельные, работают на неустановившихся режимах.

Колебания нагрузки, вызванные постоянной вариацией тягового и общего сопротивления МТА, приводят к изменению параметров работы двигателя, в том числе и процесса топливоподачи, которые определяются величиной цикловой подачи топливных насосов высокого давления (ТНВД).

Показатели эффективности использования дизельных энергосредств в значительной степени определяются работоспособностью и уровнем эксплуатационной надежности топливной аппаратуры. В процессе эксплуатации со временем возникают неисправности, приводящие к снижению мощности, а так же увеличению расхода топлива, токсичности и дымности отработавших газов. В большинстве случаев это обусловлено неисправностями ТНВД, в основном из-за изнашивания плунжерных пар.

Основной причиной отказов системы питания дизельных двигателей являются ТНВД - 60%. Высокая доля отказов ТНВД связана с изнашиванием плунжерных пар, ресурс которых

составляет 1...4 тыс. мото-ч.

При изнашивании плунжерных пар возрастает неравномерность подачи топлива. При пуске двигателя неравномерность подачи может достигать до 63%, что объясняется низкими оборотами, малым ходом плунжера, быстрым перетеканием топлива в зазор плунжерной пары и др. Неравномерность подачи топлива по цилиндрам двигателя выше 10% выводит за допустимые техническими условиями значения удельных расходов топлива. В процессе эксплуатации МТА показатели рабочего цикла и основные параметры двигателей в значительной мере зависят от режимов работы. Неудовлетворительное техническое состояние топливной аппаратуры, изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя, разворотах и остановках МТА, приводят к ухудшению топливной экономичности, повышению дымности и токсичности отработавших газов.

Работоспособность ТНВД определяется стабильной подачей топлива, при различных режимах работы дизеля, которые обеспечиваются цикловой подачей плунжерных пар. В свою очередь значительное влияние на цикловую подачу топлива оказывает зазор между плунжером и втулкой. В процессе эксплуатации дизельных энергосредств на выполнении различных сельскохозяйственных операций режимы работы топливного насоса сопровождаются колебаниями частоты вращения кулачкового вала, зависящими от длины гона, рельефа почвы, скорости движения МТА и т.д. При работе ТНВД на номинальных режимах, величина зазора между плунжером и втулкой не оказывает существенного влияния на параметры топливоподачи из-за высокой скорости перемещения плунжера во втулке.

Уменьшение частоты вращения кулачкового вала и ее варьирование, связанные со значительными колебаниями тягового сопротивления МТА, нестабильностью рабочих процессов и операций, приводят к перетеканию топлива в зазор между плунжером и втулкой и оказывают влияние на увеличение неравномерности подачи топлива по секциям [7, 9]. Все это способствует повышению общего расхода топлива. В процессе эксплуатации дизельных энергосредств в составе МТА на выполнении сельскохозяйственных операций и неудовлетворительное техническое состояние плунжерных пар ТНВД дополнительно увеличивают перерасход топлива.

Тогда общий расход топлива за период выполнения технологических операций можно определить по формуле:

$$G_{\text{общ}} = G_{\text{px}} \cdot T_{\text{px}} + G_{\text{xx}} \cdot T_{\text{xx}} + G_o \cdot T_o \quad (1)$$

где  $G_{\text{px}}$ ,  $G_{\text{xx}}$ ,  $G_o$  и  $T_{\text{px}}$ ,  $T_{\text{xx}}$ ,  $T_o$  - часовые расходы топлива (кг/ч) и время работы (ч), соответственно, при рабочем, холостом ходе и остановках МТА.

При выполнении технологических операций дизельными энергосредствами расход топлива на каждом  $i$ -ом режиме можно представить как основной расход  $G_{io}$ , который учитывает теоретическое отличие режима загрузки МТА от номинального  $G_n$ , и дополнительный  $\Delta G_i$ , обусловленный колебаниями нагрузки на этом режиме и неравномерностью подачи. Выражая эти составляющие расхода топлива через относительные коэффициенты, получим:

$$G_i = k_i \cdot G_n (1 + \delta_i) \quad (2)$$

где  $k_i = G_{io} / G_n$  - коэффициент, учитывающий отношение расхода топлива  $i$ -ого режима к расходу топлива при номинальных оборотах;

$\delta_i = \Delta G_i / G_{io}$  - неравномерность подачи топлива дизельных энергосредств в составе МТА, обусловленная режимами работы двигателей и повышенным зазором между плунжером и

втулкой.

Соответствующие периоды работы МТА представлены в долях от общего периода выполнения операции  $T_{общ}$ , тогда выражение (9) представим в следующем виде:

$$G_i = k_i \cdot G_n \cdot \tau_i \cdot T_{общ} (1 + \delta_i) \quad (3)$$

где  $\tau_i = T_i / T_{общ}$  – коэффициент, учитывающий период работы МТА на  $i$ -ом режиме от общего времени выполнения операции.

Согласно полученной зависимости общий расход топлива можно снизить за счет уменьшения дополнительного расхода топлива, который определяется неравномерностью цикловой подачи топлива плунжерных пар ТНВД. Для представленных режимов и соответствующей загрузки МТА на выполнении технологических процессов общий расход топлива определится как:

$$G_{общ} = G_n \cdot T_{общ} [k_{px} \cdot \tau_{px} (1 + \delta_{px}) + k_{xx} \cdot \tau_{xx} (1 + \delta_{xx}) + k_o \cdot \tau_o (1 + \delta_o)] \quad (4)$$

Для оценки эффективности мероприятий формирования улучшенных свойств рабочих поверхностей экспериментальных плунжерных пар в сравнении с существующими по величине расхода топлива при выполнении технологических операций МТА введен коэффициент относительного эффекта снижения расхода топлива –  $\Theta$ , представляющих отношение расхода топлива сравниваемых вариантов:

$$\Theta = \frac{G_{общ}^c}{G_{общ}^o} = \frac{k_{px} \cdot \tau_{px} (1 + \delta_{px}^o) + k_{xx} \cdot \tau_{xx} (1 + \delta_{xx}^c) + k_o \cdot \tau_o (1 + \delta_o^c)}{k_{px} \cdot \tau_{px} (1 + \delta_{px}^c) + k_{xx} \cdot \tau_{xx} (1 + \delta_{xx}^o) + k_o \cdot \tau_o (1 + \delta_o^o)} \quad (5)$$

Полученная зависимость позволяет анализировать эффективность дизельных энергосредств при выполнении различных технологических операций с учетом неравномерности топливоподачи ТНВД.

Направления по повышению ресурса плунжерных пар можно разделить на две группы: конструктивные и эксплуатационные. Конструктивные методы включают в себя изменения расчетно-конструктивных параметров прецизионных пар и совершенствования технологии изготовления отдельных деталей. Эксплуатационные методы связаны с обеспечением благоприятных условий работы трущихся деталей за счет совершенствования существующих технологий ремонта и обслуживания.

Составными частями ТНВД (рис. 1) выступают узлы и детали в виде корпуса, нагнетательных клапанов, кулачкового вала, топливоподкачивающего насоса и плунжерных пар [1, 2]. Низшими элементами иерархической схемы насоса, обеспечивающими топливоподачу, являются рабочая поверхность плунжера, контактирующая с рабочей поверхностью втулки. Плунжер и втулка обеспечивают подачу топлива под высоким давлением, поэтому их рабочие поверхности, контактирующие между собой, должны обеспечивать максимальную герметизацию контакта, чтобы предотвращать перетекания топлива в зазор на всех режимах работы ТНВД. В тоже время минимизация этого зазора без применения дополнительных мер и материалов приводит к схватыванию контактируемых рабочих поверхностей. Поэтому целевым назначением рабочих поверхностей деталей плунжерной пары является обеспечение минимального зазора при недопустимости их схватывания и при этом они должны иметь высокую износостойкость в реальных условиях эксплуатации.

На износ рабочих поверхностей плунжерных пар оказывают влияние следующие факторы: свойства поверхностных слоев рабочих поверхностей деталей, режимы работы насоса и

качество топлива.

На основе проведенного анализа литературных источников и с учетом полученных теоретических моделей, нами предлагаются два направления повышения ресурса плунжерных пар: создание требуемых свойств их рабочих поверхностей и восстановление работоспособности комбинированным способом [3, 4].

Комбинированный способ восстановления и упрочнения прецизионных деталей [5] включает в себя, наряду с необходимыми операциями механической обработки и контроля параметров и отклонений формы, следующие этапы: применение электроискровой обработки (ЭИО), безабразивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО) и применение финишного плазменного упрочнения (ФПУ). Данные операции могут применяться не только в сочетании, но и отдельно друг от друга. В такой комбинации они обеспечивают улучшенные свойства поверхностей.

Создание требуемых свойств рабочих поверхностей плунжерных пар, предлагается нанесением тонкопленочных алмазоподобных покрытий, обладающих высокой микротвердостью, низким коэффициентом трения, а также препятствующие схватыванию контактируемых поверхностей. Следует отметить, что в начале эксплуатации по предложенным вариантам, поверхностный слой деталей плунжерных пар имеет одинаковые свойства, которые определяются природой тонкопленочного покрытия, формируемого методом ФПУ.

При восстановлении рабочих поверхностей плунжерных пар и формировании тонкопленочных покрытий, которые проводились в соответствии ГОСТ 9450-76 с использованием твердомеров модели HV-1000 и модели HBRV-178.5. Измерение шероховатости наносимого покрытия определяли с применением прибора MarSurf PS 1. Исследованиями установлено, что шероховатость поверхности с тонкопленочным покрытием в 1,6 раза ниже, чем без покрытия по параметру  $R_a$ . За счет формирования тонкопленочных покрытий обеспечивается снижение первоначального зазора и повышение гидравлической плотности. Измерения гидравлической плотности проводились на установке КИ-759 по ГОСТ 25708-83. Анализ плунжерных пар, поступающих в качестве запасных частей показал, что 86% исследованных деталей имеют значение гидравлической плотности не превышающее  $t=45,7$  с, при среднем значении 43,4 с. Распределение гидравлической плотности плунжерных пар после нанесения покрытия изменилось таким образом, что 82% экспериментальных плунжерных пар имеют гидравлическую плотность, превышающую  $t=45,7$  с со средним значением  $\bar{t}=46,7$  с.

При проведении сравнительных исследований цикловой подачи выпускаемых и экспериментальных плунжерных пар в зависимости от оборотов кулачкового вала топливного насоса и положения рейки было установлено, что при частоте вращения кулачкового вала в диапазоне 200...1000 мин<sup>-1</sup> при  $L=0$  мм, что соответствует положению рейки максимальной подачи топлива, составило 115...145 мл или на 26,1%, при  $L=2$  мм,  $L=4$  мм и  $L=6$  мм уменьшение цикловой подачи составило 57,1%, 54,5% и 53% соответственно [6].

Причем при положении рейки  $L=6$  мм в диапазоне частоты вращения кулачкового вала 200...300 мин<sup>-1</sup> топливо не подавалось. Исследования цикловой подачи экспериментальных плунжерных пар при различном положении рейки показали, что при положении рейки  $L=0$  мм снижения подачи топлива не было, при  $L=2$  мм,  $L=4$  мм и  $L=6$  мм уменьшение цикловой подачи составило 35,2%, 37,7% и 26,1% соответственно.

Результаты исследования неравномерности подачи топлива показали, что неравномерность топливоподачи выпускаемых плунжерных пар, при частоте вращения кулачкового вала

в диапазоне 200...1000 мин<sup>-1</sup> и положении рейки L=0, L=2 мм, L=4 мм и L=6 мм, составляет 25...36%, а у экспериментальных не превышает 5%.

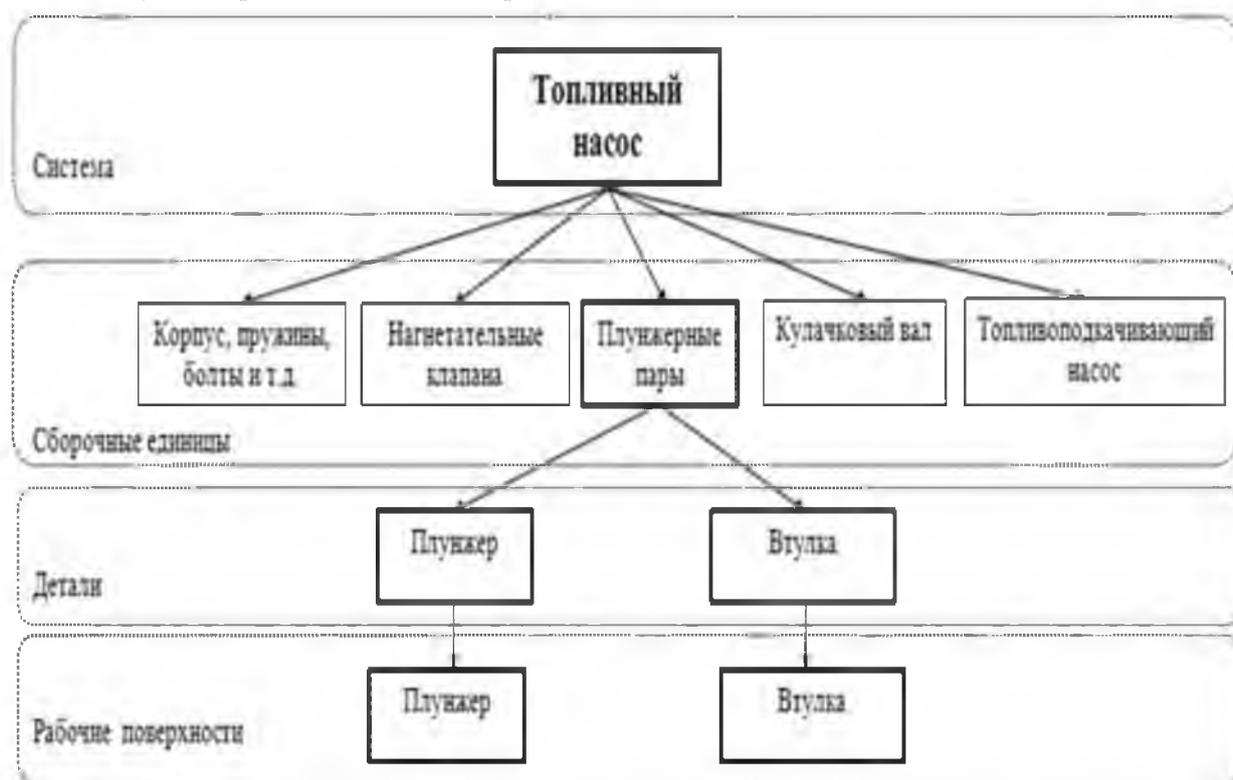


Рисунок 1 – Иерархическая схема топливного насоса высокого давления.

Сравнительные испытания плунжерных пар ТНВД 4УТНМ, проводились на стенде СДМ 12-01. Проведенные исследования позволили установить зависимость цикловой подачи от времени наработки и частоты вращения кулачкового вала:

$$q_{цэксп} = 0,18 \cdot n - 0,0011 \cdot t - 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 - 20,6 \quad (6)$$

$$q_{цвып} = 0,23 \cdot n - 0,0006 \cdot t - 0,0001 \cdot n^2 - 44,9 \quad (7)$$

где  $q_{цэксп}$  и  $q_{цвып}$  – соответственно, цикловая подача экспериментальных и выпускаемых плунжерных пар, мл;  $t$  – наработка плунжерных пар, мото-ч;  $n$  – частота вращения кулачкового вала топливного насоса, мин<sup>-1</sup>.

Результаты, полученные в ходе испытаний, показали, что при номинальной частоте вращения кулачкового вала цикловая подача выпускаемых плунжерных пар снизилась на 2,8%, а у экспериментальных снижение топливоподачи составило 1,3%, неравномерность топливоподачи в обоих случаях не превышала 2%.

С уменьшением частоты вращения кулачкового вала ТНВД до 800 мин<sup>-1</sup>, снижение цикловой подачи экспериментальных и заводских плунжерных пар составило 1,8% и 5,5%, а неравномерность топливоподачи по секциям повысилась до 2,3% и 6,7%, соответственно.

При частоте вращения кулачкового вала до 500 мин<sup>-1</sup>, снижение цикловой подачи экспериментальных плунжерных пар составило 4,9% с неравномерностью подачи по секциям 2,8%, а у заводских 9,3% и 24,6%, соответственно.

Обработка полученных экспериментальных данных, позволила выполнить прогнозирование ресурса плунжерных пар (рис. 2).

Основываясь на данных, полученных в ходе проведения многофакторного эксперимента

и математической модели формирования ресурса плунжерных пар, имеющих тонкопленочное покрытие, было определено, что наработка выпускаемых плунжерных пар составляет 2500...4000 ч, а экспериментальных 6000...9000 ч.

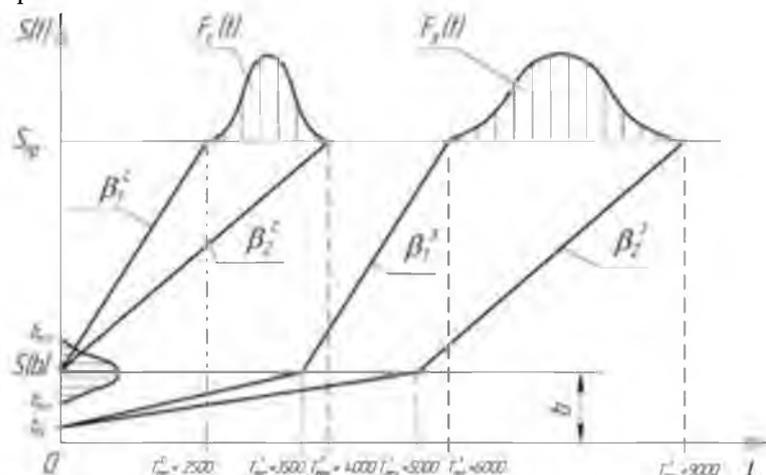


Рисунок 2 – Модель формирования постепенного отказа заводских и экспериментальных плунжерных пар.

Используя выражение (5) и экспериментальные данные по неравномерности подачи топлива, установлено снижение общего расхода топлива в процессе эксплуатации дизельного энергосредства в сравниваемых вариантах, который может уменьшиться на 11...23% [8, 9].

Таким образом, формирование тонкопленочных износостойких покрытий на рабочих поверхностях ПП обеспечивает не только повышение ресурса в 2,25... 2,4 раза, но и повышение эффективности работы дизельных энергосредств в составе МТА за счет снижения расхода топлива.

### Список литературы

1. Лебедев, А.Т. Ресурсосберегающие направления повышения надежности и эффективности технологических процессов в АПК: Монография. // Ставрополь, 2012 – 376 с.
2. Лебедев, А.Т. Оценка технических средств при их выборе: Монография / А.Т. Лебедев. - Ставрополь: АГРУС, 2011.- 42 с.
3. Лебедев А.Т., Лебедев П.А. Повышение износостойкости плунжера топливного насоса / Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. - №1. – С. 23-24.
4. Лебедев А.Т., Лебедев П.А. Восстановление работоспособности плунжерных пар / Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. - №1. – С. 24-25.
5. Пат. 2423214 Российская Федерация, В23Р6/00 (2006.01). Способ восстановления прецизионных деталей [Текст]/ А.Т. Лебедев, Р.А. Магомедов, П.А. Лебедев [и др.]. - №2009147528/02; заявл. 21.12.2009; опубл. 10.07.2011. Бюл. №19. - 9 с.
6. Лебедев А.Т., Лебедев П.А., Васин В.А. Повышение эффективности дизельной топливной аппаратуры / Тракторы и сельхозмашины. – 2011. - №7. – С. 43-45.
7. Лебедев П.А., Лебедев А.Т. Режимы работы двигателей и расход топлива / Сельский механизатор. – 2011. - №12. – С. 30-31.
8. Лебедев П.А. Способы снижения расхода топлива при выполнении сельскохозяйственных работ / П.А. Лебедев, В.С. Цховребов, В.А. Халюткин, В.А. Васин, Б.В. Малюченко // Вестник АПК Ставрополья. – 2012. Т. 7. № 3. С. 47-49.

9. Лебедев П.А. Улучшение параметров топливоподачи топливных насосов высокого давления дизельных двигателей / Техника в сельском хозяйстве. – 2011. - №6.- С. 25-26.

#### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

*Лебедев А.Т., д.т.н., ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет г. Ставрополь, Российская Федерация*

*Лебедев П.А., ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет г. Ставрополь, Российская Федерация*

#### **РЕЦЕНЗЕНТ**

*Левин Максим Юрьевич, кандидат технических наук, преподаватель кафедры физики и биомедицинской техники, ГОУ ВПО Липецкий государственный технический университет, ул. Московская, д.30, г. Липецк, 3980600, Россия.*

УДК 621.521

**ЛЕБЕДЕВ А.Т., ЗАХАРИН А.В.**

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАКУУМНОГО НАСОСА ПЛАСТИНЧАТОГО ТИПА МОДЕРНИЗАЦИЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ РЕМОНТЕ**

Важным фактором при повышении эффективности работы технологического оборудования в промышленности и сельском хозяйстве является поддержание постоянства вакуумного режима. Наибольшее распространение среди устройств для создания вакуума, получили вакуумные насосы пластинчатого типа (РВН). В связи с этим РВН должны иметь высокую надежность и техническую готовность на протяжении всего периода эксплуатации. Коэффициент готовности должен быть не ниже 0,99, а в часы использования равен единице. Однако насосы РВН имеют ряд недостатков, такие как низкий межремонтный ресурс 800...900 часов и снижение производительности в результате увеличения длительности непрерывной работы [1]. Даже незначительное нарушение режима работы вакуумных установок приводит к снижению качества продукции, повышению расхода электроэнергии и нарушению технологических процессов. Необходимость поддержания высокой технической готовности вакуумных насосов и установок, непродолжительный период резервного времени для восстановления работоспособности обуславливают повышенные требования к качеству ремонта вакуумных насосов, а также его специфику. Поэтому для поддержания необходимого вакуумного режима возникла потребность в дальнейшем совершенствовании конструкции пластинчатых вакуумных насосов и улучшении показателей их работы.

В связи с этим разработка мероприятий, обеспечивающих повышение эффективности РВН за счет модернизации их конструкции при ремонте, представляет практический интерес и является актуальной.

Вакуумный насос, можно представить как самостоятельную сложную техническую систему, состоящую из узлов и деталей, которые в свою очередь состоят из рабочих поверхностей [2], и построить для него иерархическую схему (рис. 1).