

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВАЛОВ СУДОВЫХ НАСОСОВ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

*Агеев М.С.*

*Херсонская государственная морская академия*

*Кожевникова Е.Е.*

*Одесская национальная морская академия,*

*Лопата В.Н.*

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт»*

*Рассмотрены причины выхода из строя судовых насосов, которые являются самыми распространенными механизмами на судах. Исследованиями износа деталей судовых насосов установлено, что в первую очередь существует потребность в восстановлении поверхностей наиболее распространённых и часто выходящих из строя деталей, таких как валы. Для выбора метода восстановления и повышения ресурса валов СН установлены причины и характер их повреждений, основные виды износа, влияющие на выбор способа восстановления. Представлена краткая характеристика существующих методов восстановления. Предложено повышать износостойкость и ресурс валов СН путем восстановления их рабочих поверхностей комбинированным способом нанесения защитных покрытий, которые заключается в электроконтактном припекании (ЭКП) предварительно сформованных газопламенным напылением порошковых слоев из самофлюсующихся сплавов на основе никеля.*

**Ключевые слова:** *судовые насосы, валы судовых насосов, ресурс, восстановление, износ, комбинированный метод нанесения покрытия, электроконтактное припекание, газопламенное напыление.*

**Актуальность исследования.** Надежность и технико-экономическая эффективность судовых систем (СС) в значительной степени определяются надежностью и эффективностью насосов, являющихся самыми распространенными механизмами на судах [1-3]. Судовые насосы предназначены выполнять следующие функции [4-5]: поддерживать непрерывно работу главной энергетической установки и различных вспомогательных систем; выполнять хозяйственные нужды судна; удалять из судна сточные воды, заполнять балластом специальные цистерны, и удалять его; оказывать помощь при выполнении грузовых операций; обеспечивать безопасность судна.

Надежность и эффективность работы насосов судовых машин и механизмов (СММ) в значительной степени зависит от того, насколько реально можно учитывать негативные последствия внешнего воздействия на детали насосов нагрузок и учитывать воздействия на процесс их изнашивания максимального количества значащих факторов в процессе эксплуатации [4-5]. На долговечность судовых насосов влияет ряд факторов (рис. 1), в частности: его характеристики (давление, напор, скорость вращения и биение вала), свойства герметизирующей среды (ресурс уплотнения, износостойкость пары трения) и др. Ресурс судовых насосов определяется условиями их эксплуатации: диапазоном режимов работы, температуры, давления, нагрузок [4-5]. На основании анализа условий эксплуатации деталей СН сделан вывод, что главной причиной большинства их эксплуатационных отказов, снижения долговечности и ресурса является поверхностное разрушение, и в первую очередь в результате изнашивания и коррозии [4-5]. Преждевременный износ деталей насосов недопустим, так как в этом случае снижается его работоспособность, что, в свою очередь, может создать чрезвычайные обстоятельства для судна, находящегося в автономном плавании. Причины снятия судовых насосов из эксплуатации обусловлены недостаточной прочностью поверхностей деталей и их низкой износостойкостью.

Опыт эксплуатации судов показывает, что срок службы насосов в среднем в 1,5-2 раза меньше нормативного [1]. Увеличение ресурса СН представляет собой

важную проблему, которая неразрывно связана с необходимостью определения повреждений и износов их деталей [1–5]. С целью обеспечения деталей СН требуемыми показателями качества в процессе эксплуатации необходимо своевременно выявить их возможные дефекты, устранить их, и принять меры по их предупреждению. Анализ статистических данных по дефектам и неисправностям при определении технического состояния насосов в процессе выполнения капитального ремонта на судоремонтных предприятиях показал, что по причине износа и коррозии из строя выбывает до 60%, а по причинам поломок (включая усталостное разрушение) – 20...30 % деталей (рис. 2). Значительное количество продефектованных деталей бракуется по причине недопустимо износа, коррозии и отсутствия технологий их восстановления. Повреждения из-за износа вызваны несовершенством применяемых технологий обработки рабочих поверхностей деталей [6]. Такое положение дел приводит к появлению дефицита запасных частей, увеличению стоимости и продолжительности ремонта СН.

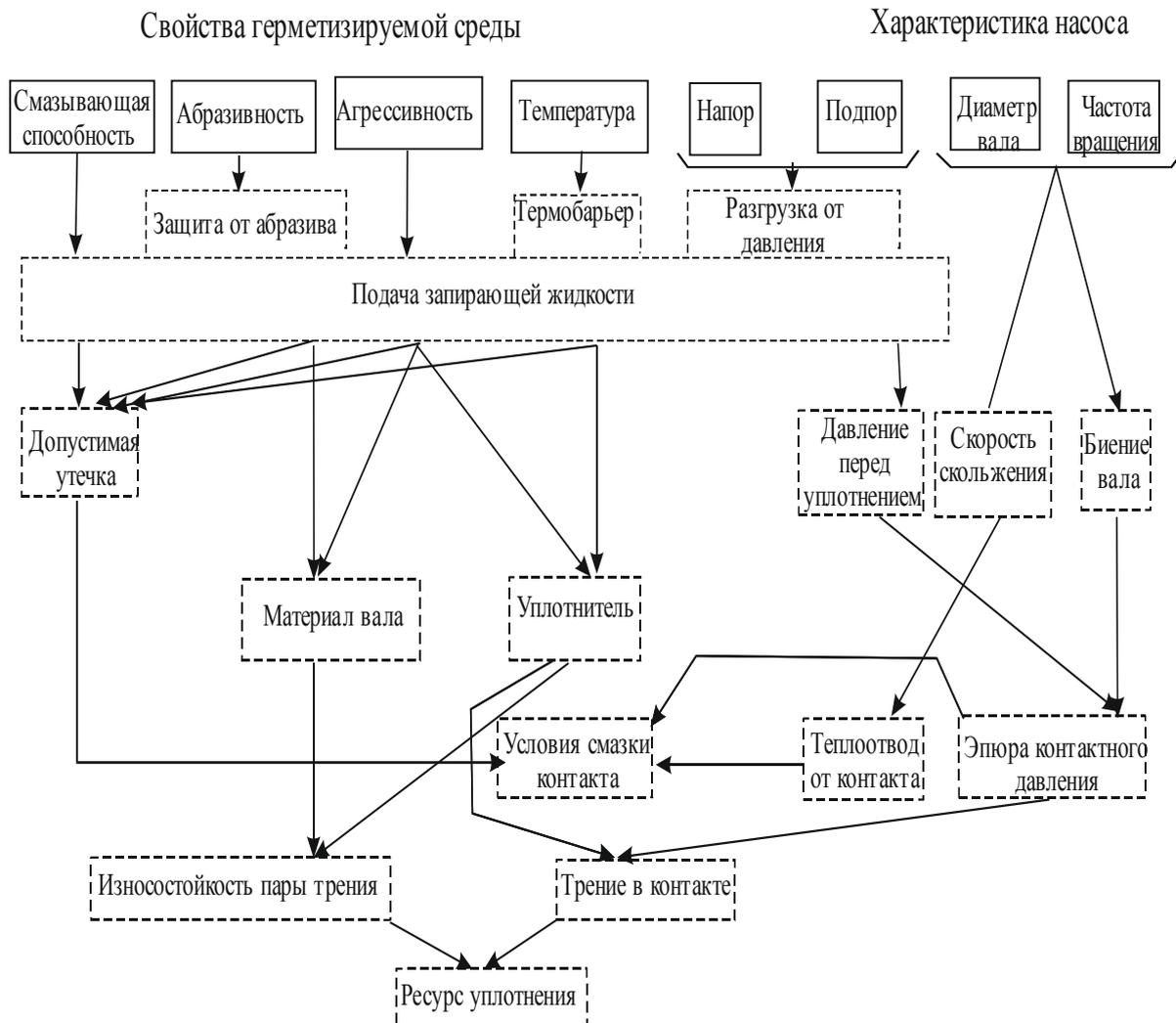


Рисунок 1 – Факторы, влияющих на долговечность судовых насосов

Ремонт судовых насосов (СН) составляет основу эксплуатационного обеспечения их надежности, позволяет повысить ресурс деталей СН и включает комплекс операций по восстановлению их работоспособности (исправности), которая характеризуется структурными (физико-механические свойства материалов деталей) и диагностическими (температура, вибрации, давление и др.) параметрами технического состояния [2–3, 6]. Использование судовых насосов требует их рациональной эксплуатации, умения оценивать износы их деталей, своевременно производить ремонт. Для этого необходимо правильно прогнозировать работоспособность деталей, лимитирующих ресурс СН, поскольку по статистическим данным до 30 % действительного годового фонда времени

работы уходит на их ремонт [2–3, 6]. Исследованием износа деталей судовых насосов [4–6] установлено, что в первую очередь существует потребность в восстановлении поверхностей наиболее распространённых и часто выходящих из строя деталей, таких как валы (рис. 3).

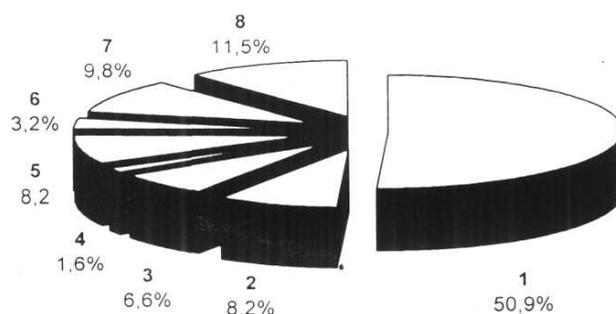


Рисунок 2 – Распределение видов дефектов деталей судовых насосов: 1 – контактные повреждения, износ, коррозия; 2 – забоины, вмятины; 3 – выкрашивание; 4 – деформация; 5 – выпучивание; 6 – повреждения при демонтаже; 7 – трещины; 8 – исчерпание ресурса

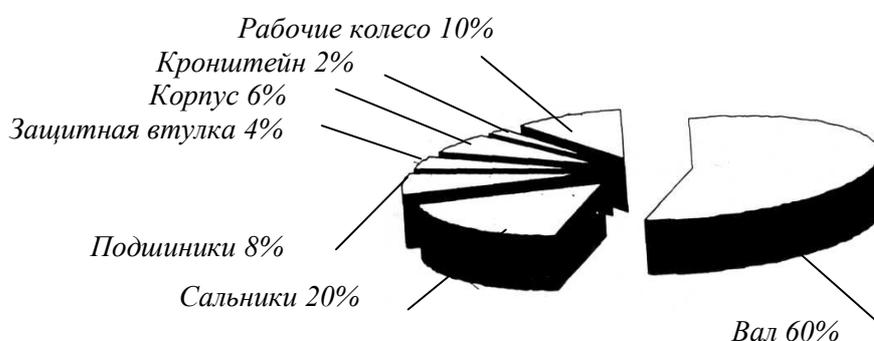


Рисунок 3 – Распределение дефектов по элементам конструкции насоса

Для выбора метода восстановления и повышения ресурса вала СН необходимо установить причины и характер его повреждений, основные виды износа, влияющие на выбор способа восстановления. Анализ состояния валов судовых насосов свидетельствует о том, что они выходят из строя по причине различных поверхностных повреждений (табл. 1) [4–6]. Ресурс вала определяется наработкой до достижения предельного износа. Величина предельно допустимого износа вала определяется либо по функциональному критерию, либо по экономическому критерию. Функциональным критерием является нарушение прочности вала. Экономический критерий оценки предельно допустимого износа вала – возможность его восстановления. Восстановление представляет собой отдельно функционирующую систему, в рамках которой выполняются следующие процессы: оценка состояния детали (дефектация), проектирование технологического процесса (ТП) восстановления, непосредственное восстановление детали [7–9]. Большинство валов судовых насосов восстанавливаемые и ремонтируемые. Ремонтируемые валы насосов подлежат восстановлению. Неремонтируемые валы не подлежат восстановлению. Ремонтпригодность вала определяет степень простоты или сложности выполнения ее ремонта. Качественным показателем ремонтпригодности вала является ее восстанавливаемость, обеспечивающая придание валу в процессе ремонта номинальных или ремонтных размеров [7–9].

Таблиця 1 – Классификация повреждений судовых валов

<i>Признак</i>	<i>Варианты</i>
Тип повреждения	Коррозионный, статический, динамический
Вид повреждения	Макротрещины, микротрещины, разрушение
Место расположения дефекта	Место под пошипник, место под уплотнение крышки подшипника, место под рабочее колесо, место под сальниковое уплотнение
Число валов из повреждений	Одиночное (менше 5%); Значительное (10...20%); Массовое (50...60%)
Причины, которые вызвали образование повреждений	Конструктивные (недостатки конструкции, вызывающие повышенный уровень напряжений, температур, неправильный выбор материала вала и покрытия и требований к ним). Технологические (недостатки технологии механической обработки, контроля вала согласно чертежа, технологических процессов нанесения защитных покрытий). Производственные (отклонения от требований чертежа вала по геометрии, по качеству материала, некачественное изготовление конструктивных элементов, что может влиять на уровень статических и динамических напряжений в детали). Эксплуатационные (нарушение режимов эксплуатации, утановленных ТУ; наличие посторонних предметов в перекачиваемой жидкости и присутствие среды, вызывающей коррозионный износ детали).
Степень влияния на безопасность дальнейшей эксплуатации вала	Не влияет на ресурс Ограничивает срок дальнейшей эксплуатации Требует срочной замены вала

Одни и те же валы в зависимости от наличия дефектов могут быть невосстанавливаемые, например, вал с трещинами, и восстанавливаемыми – эти же валы без трещин. Чаще всего восстанавливается не весь вал, а его поверхность или отдельные элементы. Виды восстановления классифицируют в соответствии с видами дефектов и их последствиями. Для устранимых дефектов можно выделить следующие виды восстановления [9–15]: различными способами нанесения покрытий, поверхностно-пластическим деформированием; способами механической обработки, балансировкой, правкой; способами сварки, термической и химико-термической обработки; валы чаще всего восстанавливают путем проточки рабочей поверхности в комбинации с предшествующей наплавкой или другим методом нанесения защитного покрытия, или без покрытия. Основным назначением процесса восстановления валов является восстановление их геометрической формы, механической прочности, износостойкости. В судоремонтном производстве валы СН восстанавливают механической и слесарной обработкой, сваркой и наплавкой, пластическим деформированием, электролитическим наращиванием, напылением, электрофизическими способами обработки и т.д. [6, 10–11].

В ремонтном производстве Украины наиболее часто валы восстанавливают способом ремонтных размеров [6–9]. При способе ремонтных размеров с изношенной части вала (например, шейка) снимается минимально необходимый слой металла с целью устранения отклонений от правильной геометрической формы. Полученный после обработки новый размер называется ремонтным. Способ ремонтных размеров наиболее экономичен вследствие простоты (весь ремонт сводится к механической обработке) и широко применяется в ремонтном производстве. Его недостатки: предварительная обработка изношенных поверхностей деталей; окончательная обработка поверхностей; усложнение технологического процесса ремонта из-за многообразия деталей различных ремонтных размеров; увеличение складских запасов деталей.

Сварка – наиболее распространенный способ восстановления деталей на судоремонтных предприятиях [6–11, 16–17]. Сварка служит для восстановления деталей с трещинами, пробоинами, раковинами от коррозии. Выбор способа восстановления или ремонта деталей СН сваркой обусловлен материалом деталей, их конструкцией, размерами восстанавливаемых поверхностей. Все виды сварки подразделяются на сварку плавлением и сварку давлением [16–17]. С помощью сварки плавлением устраняют такие дефекты, как трещины, износы поверхности отверстий, сколы, пробоины. Широко применяются электродуговая и газовая сварка. На их долю приходится 35...65 % общей трудоемкости сварочных работ. В ремонтном производстве используются контактные методы сварки для приварки накладок и при заделке трещин, приварки элементов и частей, компенсирующих износ деталей [16] и сварка трением [17].

В настоящее время существуют различные способы восстановления путем нанесения покрытий [18–20], многообразие которых объясняется тем, что ни один из них не может претендовать на универсальность: каждый способ имеет свою область применения; один и тот же материал покрытия может быть нанесен разными способами; большинство способов можно рассматривать как альтернативные. В отечественной практике восстановления изношенных деталей СММ или изготовления новых используют методы нанесения защитных покрытий наплавкой, напылением, припеканием и др. [9, 11, 13, 21–34]. На судоремонтных предприятиях все шире применяется восстановление поверхностей деталей нанесением покрытий электродуговой наплавкой, наплавкой в среде углекислого газа, автоматической наплавкой под слоем флюса, вибродуговой наплавкой, хромированием, железнением, электроконтактной приваркой металлической лентой, газотермическими способами напыления (плазменным, газопламенным, электродуговым) [6, 11, 21].

Наплавочные работы составляют 77 % общего объема работ по нанесению покрытий при восстановлении деталей машин: наплавка под слоем флюса – 41 %, вибродуговая – 15 %, наплавка в среде защитных газов – 26 %, наплавка порошковой проволокой без защитной среды – 13 %, плазменная – 24 %, электрошлаковая – 2 % [6, 11, 20, 22]. Несмотря на разновидность технологических схем наплавки и их распространения в ремонтном производстве, их большинство в полной мере не обеспечивает формирования бездефектной структуры наплавленного слоя из-за большого тепловыделения в деталь. В детали после наплавки возникают закалочные структуры, приводящие к нарушению геометрической формы, возникновению микротрещин и затрудняющие обработку резанием. Наплавка покрытий больших толщин требует снятия значительных припусков при финишной механической обработке. Методы наплавки не обеспечивают сохранение исходных свойств материала покрытий, вносят существенные изменения в структуру материала упрочняемой детали. Связано это с тем, что материал покрытия нагревается до температур, превышающих его температуру плавления. При этом неизбежно выгорает часть легирующих элементов, меняется кристаллическая структура металлов, она становится крупнозернистой. При нанесении покрытий методами наплавки сложно получить слой металла с содержанием легирующих элементов более 35...40 % через разбавление наплавленного металла основным, выгорание легирующих элементов. Высокотемпературное нагревание, присущее большинству методов наплавки, приводит к потере первоначальных свойств компонентов для износостойкой наплавки. Твердость полученных покрытий оказывается значительно ниже, чем у исходных материалов, и в итоге невозможно получение эксплуатационных свойств восстановленных деталей превышающих их исходные свойства. При этом наблюдаются большие деформации наплавленных деталей [29–30]. В работах [27] показано, что восстановление валов наплавкой не обеспечивает их ресурс на уровне новых деталей. Главным недостатком методов наплавки остаются «холодные» и «горячие» трещины в зоне термического влияния, которые резко снижают ресурс восстанавливаемой детали. Наплавка требует