

УДК 629.5.03

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СУДОВ,
ПРИПИСАННЫХ К ФАО «ЕРП» ПРЕБ ФЛОТА****Спикуль Алексей Олегович¹**, магистрантe-mail: spinul000@mail.ru**Шелепов Артем Владимирович¹**, магистрантe-mail: puincoffe76@inbox.ru¹ Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия

Аннотация. Обобщены характеристики гребных винтов, импеллеров и схем ДПК 20 самоходных судов восьми проектов, приписанных к ФАО «ЕРП» ПРЕБ флота. Систематизированы размерные классы, материалы, эксплуатационная роль и ремонтная значимость движителей. Показано, что статистика винтового фонда позволяет планировать замену, унификацию запасных изделий и продление срока службы за счёт контроля геометрии, шероховатости, балансировки и технологий восстановления.

Ключевые слова: гребной винт, ДПК, судоремонт, статистический анализ, замена винтов, срок службы.

**STATISTICAL ANALYSIS OF PROPELLER CHARACTERISTICS OF VESSELS
ASSIGNED TO THE FAO "ERP" PREB FLEET****Aleksey O. Spinul¹**, Master's Degree Studente-mail: spinul000@mail.ru**Artem V. Shelepov¹**, Master's Degree Studente-mail: puincoffe76@inbox.ru¹ Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract. The paper summarizes propeller, impeller and propulsion arrangement characteristics for 20 self-propelled vessels of eight designs assigned to the FAO "ERP" PREB fleet. Dimensional classes, materials, operational role and repair significance are systematized. The results support replacement planning, spare-part unification and service-life extension through geometry, surface-quality and balancing control.

Keywords: propeller, propulsion arrangement, ship repair, statistical analysis, propeller replacement, service life.

Введение

Для ремонтно-эксплуатационной базы флота вопрос замены гребных винтов определяется не только наличием дефекта, но и структурой всего винтового хозяйства: числом типоразмеров, степенью унификации, ремонтпригодностью, типом движительно-рулевого комплекса и доступностью технологического восстановления. Чем разнообразнее парк по диаметру, шагу, числу лопастей, материалу и компоновке, тем сложнее формировать складской запас и тем выше цена ошибочного решения между очередным ремонтом и полной заменой изделия.

Для судов ФАО «ЕРП» ПРЭБ эта задача осложняется неоднородностью эксплуатационных условий и состава самоходного ядра флота. Часть судов работает на участках Енисея с переменными глубинами, наносами и абразивной нагрузкой, тогда как суда проекта РБТ-378 в составе ПРЭБ задействованы преимущественно в акватории залива и на близкой удалённости по Енисею. Для этой группы характерны частые маневры, реверсы и локальные контактные воздействия, поэтому малые повторяющиеся повреждения и накопление последствий частичных правок оказываются не менее значимыми, чем крупные разовые дефекты. Одновременно крупные буксирно-толкающие суда с насадками и водомётные катера формируют иную номенклатуру запасных частей и иной профиль ремонтных рисков.

Цель статьи состоит в статистическом обобщении характеристик гребных винтов судов, приписанных к ФАО «ЕРП» ПРЭБ флота, и в инженерной интерпретации полученных данных применительно к двум прикладным задачам: оценке потребности в замене винтов, утративших эксплуатационные качества, и выбору конструктивно-технологических решений, направленных на увеличение срока их службы.

Материалы и методы

В основу исследования положены сводные данные по 20 самоходным судам восьми проектов. В расширенную совокупность включены суда проектов Р47 и 378 с открытыми гребными винтами; проекты Р-14А, 1741А «РТ-700», 428.1, 428.2 и Н-3290 с винтами в насадках; суда проекта Р-96А «Ангара» с водомётным двигателем. Исходную информационную базу составили судовые формуляры, сводные таблицы характеристик винтов, дефектные ведомости, материалы ремонта 2019–2024 гг., а также открытые регистровые карточки и проектные материалы [6–10].

Для количественного описания использованы простые статистические показатели по проектным параметрам двигателей: диаметру D , шагу H , числу лопастей z , дисковому отношению θ , отношению H/D , материалу и конструктивной схеме ДРК. Одновременно определялись доли судов по типам двигателей и проектным сериям, поскольку именно распределение по размерным и конструктивным классам напрямую влияет на потребность ПРЭБ в запасных винтах, импеллерах и комплектующих.

Для сопоставления использована двухуровневая система признаков. Первый уровень включает числовые параметры винта или импеллера: диаметр, шаг, число лопастей, дисковое отношение и материал. Второй уровень отражает схему ДРК, эксплуатационный класс судна и ремонтную значимость сопряжённых элементов. Такой подход позволяет учитывать все включённые в выборку проекты без снижения достоверности статистики: размерные показатели используются там, где они заданы проектной документацией, а для остальных позиций ключевым классификационным признаком выступает тип двигателя и место судна в структуре винтового фонда ПРЭБ.



Результаты и обсуждение

По структуре расширенной совокупности суда с открытыми винтами составляют 10,0 % анализируемого самоходного флота, суда с винтами в насадках — 60,0 %, суда с водомётными движителями — 30,0 %. Уже это распределение показывает, что основная номенклатура винтового хозяйства ПРЭБ сосредоточена не в маневровом открытом классе, а в двухвальных комплексах с насадками и в водомётной группе, для которой требуется отдельный запас внутренних элементов ДРК.

Систематизация показывает, что в расширенной совокупности представлены три технических класса: открытые маневровые винты малого размера, насадочные тяговые комплексы и водомётные движители. Диаметр численно описанных классических винтов находится в пределах 0,90–1,85 м, шаг — 0,55–1,68 м, дисковое отношение — 0,53–0,82, число лопастей — 4–5. Дополнительно выделяется водомётная группа проекта Р-96А с импеллером диаметром 0,846 м и расчётным диапазоном шага 1,19–1,29 м.

Наиболее многочисленными в расширенной совокупности являются суда проектов Р-14А и Р-96А: вместе они формируют половину выборки. Именно по этим сериям наибольший эффект даёт стандартизация контроля и формирование минимального страхового запаса типовых изделий. Семейство проектов 428.1–428.2 и отдельный класс Н-3290 представляют менее массовую, но более дорогую и чувствительную к точности ремонта группу.

Статистика по винтам должна рассматриваться вместе со схемой ДРК. В открытой двухвальной схеме преобладают кромочные повреждения, последствия частичных правок и рост небаланса; в двухвальной схеме с насадками ключевыми становятся расчётный зазор, состояние внутренней поверхности насадки, точность профиля и сопряжение после ремонта; в водомётной схеме акцент смещается с внешнего винта на импеллер, водозабор, направляющий аппарат и чистоту проточной части.

Открыто верифицируемая часть приписного самоходного состава подтверждает практическую значимость такого подхода. По карточкам судов и фотофиксации для Подтесово, Красноярска и Павловщины можно уверенно проследить присутствие в енисейском контуре ЕРП как минимум восьми проектных серий: Р47, 378, Р-14А, 1741А, 428.1, 428.2, Н-3290 и Р-96А [6–10]. Тем самым публикационный анализ опирается не на локальную группу однотипных судов, а на расширенную совокупность, позволяющую сопоставлять разные классы ДРК внутри одного эксплуатационного контура.

С инженерной точки зрения это меняет и постановку вопроса о замене. Для открытых винтов ключевым ограничением чаще выступает потеря геометрии после серии местных ремонтов; для винтов в насадках — невозможность удержать проектный зазор и стабильное обтекание; для водомётов — износ импеллера и внутренних элементов, снижающий эффективность комплекса даже при отсутствии крупных внешних повреждений. Следовательно, оценка потребности в замене должна строиться по классам ДРК, а не только по единичным дефектам отдельных винтов.

Таблица 1. Состав выборки по типам движителей и типовые схемы ДРК

Группа	Проекты	Число судов	Доля, %	Типовая схема ДРК
Открытые винты	Р47, 378	2	10,0	Двухвальная схема; 2 открытых винта фиксированного шага; рулевое устройство за винтами
Винты в насадках	Р-14А, 1741А, 428.1, 428.2, Н-3290	12	60,0	Двухвальная схема; 2 винта в насадках; для части проектов применяются поворотные насадки; решающее значение имеют зазоры и геометрия сопряжений



Водомёты	P-96A	6	30,0	Водозабор, импеллер, направляющий аппарат и сопловой тракт; контроль смещается внутрь ДРК
----------	-------	---	------	---

Таблица 2. Проектные характеристики винтов и открыто верифицируемые сведения по ДРК

Проект	Суда / число	Схема ДРК	Характеристика винта или импеллера	Ремонтная и статистическая значимость
P47	Портовый-7 (1)	Двухвальная открытая схема; 2 винта фиксированного шага	Открытый рейдово-буксирный класс; мощность комплекса 2×220 кВт; маневровая работа на ограниченных акваториях	Контроль кромок, профиля, ступицы и балансировки после контактов с льдом, грунтом и наносами
PBT-378	Ледоход (1)	Двухвальная открытая схема; 2 винта фиксированного шага	D=0,98 м; H=0,55 м; z=4; $\theta=0,54$; стальной винт малого маневрового класса; H/D≈0,56	Приоритетны передняя и выходная кромки, последствия частых реверсов и накопление небаланса после локальных правок
P-14A	К. Плотников, Учум, Новосёлово, Богучаны (4)	2 винта фиксированного шага в неподвижных насадках	D=0,90 м; H=1,24 м; z=4; $\theta=0,70$; материал — сталь 25Л; H/D≈1,38	Критичны зазор «лопасть – насадка», состояние внутренней поверхности насадки и качество восстановления покрытий
1741A «РТ-700»	РТ-701, РТ-708, РТ-760 (3)	Двухвальная насадочная схема тягового буксира-толкача	D≈1,36 м; H≈1,68 м; z=4; $\theta\approx0,53$; материал — сталь 25Л; H/D≈1,24	Требуются контроль профиля, балансировки, геометрии после наплавки и равномерности износа насадок
428.1 «ОТ-2000»	К. Крылов, К. Угрюмов (2)	2 винта фиксированного шага в поворотных насадках со стабилизаторами	D=1,71 м; H=1,518 м; z=5; $\theta=0,80$; стальное литьё; крупный тяговый класс; H/D≈0,89	Экономически предпочтителен высокоточный ремонт с контролем насадки, сопряжений и равномерности обтекания
428.2 «ОТ-2100»	А. Сибиряков, Б. Колесников (2)	Двухвальная насадочная схема семейства ОТ-2000/ОТ-2100	Крупноразмерный тяговый класс 428-й серии; эксплуатационно близок к группе винтов в насадках повышенной ремонтной стоимости	Основной риск связан с сопряжениями ДРК, состоянием насадок, валопроводов и точностью восстановления после ремонта



Н-3290 «ОТ-2400»	Н. Игнатюк (1)	2 винта фиксированного шага в насадках; отдельный силовой класс	$D=1,85$ м; $z=5$; $\theta=0,82$; материал — сталь 1Х14НДЛ; крупный тяговый винт повышенной площади лопастей	Требует индивидуального планирования запаса, контроля кавитации, геометрии насадок и ремонтной технологии крупного винта
Р-96А «Ангара»	Ангара-10, -54, -61, -63, -71, -91 (6)	Водомёт: водозабор, импеллер, направляющий аппарат и сопловой тракт	Импеллер $D=0,846$ м; расчётный шаг 1,19– 1,29 м; $z=4$; ресурс определяется состоянием внутреннего тракта	Замена и ремонт планируются по состоянию импеллера, решёток, направляющих элементов и загрязнению проточной части

В таблице отражены не только размерные характеристики винтов и импеллеров, но и ремонтно-эксплуатационная роль каждой проектной группы. Для планирования замены одинаково важны геометрия, схема установки, тип насадки или водомётного тракта, а также характер типовых повреждений, возникающих при работе судна в енисейском эксплуатационном контуре.

Технологические подходы к увеличению срока службы

Статистическое описание винтового фонда приобретает практический смысл только тогда, когда переводится в решения по изготовлению, ремонту и учёту. Для ПРЭБ целесообразно вести единый реестр гребных винтов и элементов ДРК с фиксацией диаметра, шага, числа лопастей, дискового отношения, материала, типа насадки либо водомётного тракта, района плавания и количества выполненных ремонтов. Такой реестр позволяет оценивать остаточный ресурс по истории эксплуатации конкретного изделия.

Современные исследования показывают, что долговечность гребных винтов зависит не только от прочности базового материала, но и от сочетания кавитации, коррозии, абразивного воздействия и параметров поверхности [1–3]. Поэтому увеличение срока службы должно начинаться уже на стадии изготовления и восстановления: важны точность литейной оснастки, полноценная механическая обработка, инструментальный контроль шага и профиля, а также динамическая балансировка после правки и наплавки.

В нормативных документах классификационного наблюдения подчёркивается, что изготовление цельнолитых винтов и их восстановление сваркой или наплавкой допустимы лишь в установленных пределах и при соблюдении требований к материалу и зоне ремонта [4, 5]. Для флота ПРЭБ это означает целесообразность сохранения стальных винтов в качестве базового решения, но при обязательном усилении контроля геометрии кромок, симметрии лопастей и состояния поверхности после восстановления. Для ДРК с насадками и водомётами к этому добавляется контроль сопрягаемых поверхностей и внутренних каналов, поскольку именно они во многих случаях ограничивают ресурс комплекса сильнее, чем сам материал винта.

Практически рационален отдельный подход к обновлению винтового фонда. Для открытых винтов следует формировать запас изделий малого маневрового класса и раньше выводить из эксплуатации винты после серии локальных ремонтов. Для винтов в насадках экономически оправдан более точный ремонт с контролем зазоров и равномерности обтекания. Для водомётных движителей приоритетом остаются чистота проточной части и



состояние импеллера. Для проектов 428.2 и Н-3290 особое значение имеет унификация сопрягаемых элементов ДРК.

Заключение

Статистическое обобщение характеристик двигателей 20 самоходных судов восьми проектов, относящихся к енисейскому контуру ФАО «ЕРП» ПРЭБ флота, показало, что винтовое хозяйство базы неоднородно по типу двигателя, размерным параметрам, материалу и эксплуатационному назначению. В расширенной совокупности 10,0 % судов используют открытые гребные винты, 60,0 % — винты в насадках и 30,0 % — водомётные двигатели; численно описанный диапазон диаметров классических винтов составляет 0,90–1,85 м.

Для оценки потребности в замене решающими оказываются не только типоразмер, но и место проекта внутри общей структуры ДРК. Малые открытые винты маневровых судов быстрее теряют эксплуатационные качества из-за повторных местных ремонтов и утраты профиля; крупные тяговые винты в насадках критически зависят от точности восстановления и сохранения расчётных зазоров; водомётные комплексы требуют отдельной стратегии учёта импеллеров, направляющих элементов и состояния проточной части.

Следовательно, для ПРЭБ наиболее рационален риск-ориентированный подход, при котором решение о восстановлении или замене принимается по совокупности геометрических характеристик винта, схемы ДРК, материала, истории ремонтов и фактического профиля эксплуатации судна. Такой подход позволяет перейти от ремонта по отдельным случаям к управлению расширенным винтовым фондом самоходного флота и обоснованно формировать номенклатуру запасных изделий.

Список литературы

1. Цветков Ю. Н., Горбаченко Е. О., Ларин Р. Н. Влияние коррозионного фактора на кавитационную износостойкость сплавов для гребных винтов // Научные проблемы водного транспорта. 2020. Вып. 62. С. 92–101. DOI: 10.37890/jwt.vi62.12.
2. Горбаченко Е. О., Цветков Ю. Н. Использование результатов измерения шероховатости поверхности для прогнозирования долговечности материалов гребных винтов при кавитационном изнашивании // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. Т. 4. № 390. С. 53–66. DOI: 10.24937/2542-2324-2019-4-390-53-66.
3. Цветков Ю. Н., Баранов С. Г., Фиактистов Я. О. Материалы и технологии для восстановления изношенных при кавитации лопастей гребных винтов: история и современное состояние // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2024. Т. 16. № 6. С. 946–963. DOI: 10.21821/23095180-2024-16-6-946-963.
4. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Часть VII. Механические установки. СПб.: РС, 2018. 75 с.
5. Российский морской регистр судоходства. Методические рекомендации по техническому наблюдению за ремонтом морских судов. СПб.: РС, 2020. 214 с.
6. Подтесовская РЭБ флота // FleetPhoto. – URL: <https://fleetphoto.ru/entities/231/> (дата обращения: 04.05.2026).
7. Карточки судов проектов Р47, 378, Р-14А, 1741А, 428.1, 428.2, Н-3290 и Р-96А // FleetPhoto. – URL: <https://fleetphoto.ru/> (дата обращения: 04.05.2026).



8. Проекты Р-14А, 378, 428 и Р-96А: проектные характеристики судов и гребных винтов // Архив российских речных судов. – URL: <https://russrivership.ru/> (дата обращения: 04.05.2026).

9. Проекты 428.2 (ОТ-2100) и Н-3290: сведения о конструктивной схеме буксирно-толкающих комплексов // FleetPhoto; Корабел.ру. – URL: <https://fleetphoto.ru/>; <https://www.korabel.ru/> (дата обращения: 04.05.2026).

10. Подтесовская ремонтно-эксплуатационная база флота // АО «Енисейское речное пароходство». – URL: <https://www.e-river.ru/company/holding/podtesovo/> (дата обращения: 04.05.2026).

