

УДК 62-1/-9

ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА ГРУЗОВЫХ СУДОВ

Климовских Игорь Дмитриевич¹, магистрант

e-mail: igorklimovskix@mail.ru

Михеева Татьяна Александровна¹, доцент, кандидат технических наук

e-mail: miheevata@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются возможные варианты компоновочных решений пропульсивных комплексов, которые могут монтироваться на грузовых судах, обеспечивая их движение. Выполнено технико-экономическое обоснование двух возможных вариантов компоновочных решений пропульсивного комплекса: классическая схема «валопровод-винт» и винто-рулевая колонка (ВРК). Для предварительной оценки целесообразности замены схемы «валопровод-винт» на винто-рулевую колонку проанализированы следующие показатели: технологичность процесса, трудоёмкость и себестоимость. Приведены показатели нормо-часов при монтаже валопровода и ВРК. Статья может быть применена в качестве рекомендательной при проектировании и строительстве серии грузовых судов.

Ключевые слова: винторулевая колонка, валопровод, винт, технологичность, грузовые суда, технико-экономическое обоснование, трудоёмкость, нормо-часы, монтаж, пусконаладочные работы.

COMPARATIVE ANALYSIS OF LAYOUT OPTIONS PROPULSION SOLUTIONS FOR CARGO SHIPS

Klimovskikh Igor Dmitrievich¹, Master's Degree Student

e-mail: igorklimovskix@mail.ru

Miheeva Tatiana Aleksandrovna¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

e-mail: miheevata@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article considers a comparative analysis of two options for the layout solutions of the propulsion complex: the classic «shafting-propeller» scheme and the propeller-steering column (VRS). The features of installation, commissioning, manufacturability of the process, labor intensity and cost are analyzed. The indicators of standard hours during the installation of the shafting and the VRC are given. Emphasis has been placed on the possibility of further widespread use of RVC on cargo ships in order to increase maneuverability during cargo and mooring operations, as well as on the move. The authors made a conclusion about the expediency of installing the ARC on cargo ships from the point of view of costs during the construction of

the vessel. The article can be used as a recommendation in the design and construction of a series of cargo ships.

Keywords: rudder propeller, shafting, propeller, manufacturability, cargo ships, labor intensity, labor hours, installation, commissioning.

При проектировании нового судна важно учитывать совокупность факторов, определяющих конструктивные решения судна. К примеру, выбор шпации, влияющий на металлоёмкость, расположение надстройки таким образом, чтобы обеспечить наиболее комфортную, эргономичную рабочую среду. К числу наиболее важных аспектов в проектировании судна безусловно следует отнести выбор варианта пропульсивного комплекса. Существует много разновидностей и схем движителей, но применительно к грузовым судам можно выделить две наиболее оптимальные схемы – валопровод – винт и винторулевая колонка.

Применение пропульсивного комплекса по схеме валопровод-винт на различных типах отечественных судов в СССР и в России достаточно распространено и применяется довольно давно. Кроме того, на текущий момент существует множество разработок по повышению эффективности валопровода и его восстановления. Однако, с недавних пор проектанты стали разрабатывать суда с пропульсивным комплексом по схеме винторулевой колонки, причём, спектр судов, оснащаемых ею, с каждым годом увеличивается. Это и сухогрузы, и пассажирские суда, суда технического флота, траулеры и т.д. Безусловно, у ВРК есть неоспоримое преимущество – возможность работы винта в различных направлениях, что обеспечивает высокую маневренность судов и значительно снижает вибрацию от работы главных двигателей. Также стоит отнести к преимуществам и меньшие габариты в корпусе судна, возможность простого демонтажа и обслуживания.

Несмотря на эти очевидные плюсы, переход с традиционного пропульсивного комплекса на ВРК в судостроении происходит довольно медленно. Проектанты предпочитают старую, проверенную временем схему, с отработанными технологиями монтажа и центровки.

Целью данного исследования, является технико-экономический анализ двух возможных вариантов компоновочных решений пропульсивных комплексов, а именно их технологичность, трудоёмкость и ценовой фактор. В связи с отсутствием экспериментальной базы и точных данных по трудоёмкости и стоимости отдельных работ, что связано с конфиденциальностью информации на судостроительных предприятиях, оценка исследуемых факторов выполнена теоретическим образом, с использованием стандартов, и указанных в них нормативов по монтажу, а вычисление стоимости по приближенным формулам.

Как уже указывалось ранее, монтаж пропульсивного комплекса по схеме валопровод-винт является уже отработанным технологическим процессом на большинстве верфей в России. Конструкция валопровода представляет собой длинный металлический вал, идущий от фланца двигателя к винту. На валопроводе монтируются следующие устройства – дейдвуд, тормоз валопровода, опорные кольца.

Тело вала, имеет большую длину и вращается с высокими оборотами, что обуславливает его подверженность крутильным колебаниям. Крутильными называют колебания системы, при которых все ее точки совершают движения переменного направления по дугам окружностей вокруг неподвижной оси. Возникающие знакопеременные напряжения превышают предел усталости материала вала, вызывая его разрушения, что является в отдельных случаях причиной поломки муфт, зубчатых колес редуктора и других деталей.



Источниками крутильных колебаний служат переменные крутящие моменты, действующие в отдельных элементах валопровода: гребной винт, кривошипы коленвала главного двигателя и пр.

Следует отметить, что судовой валопровод, представляющий упругую систему с распределенной массой, при расчете на крутильные колебания приводится к дискретной схеме с сосредоточенными массами, обладающими только инерционными свойствами, соединенными между собой участками валопровода, которые обладают только упругими свойствами.

Одним из способов, снизить эти крутильные колебания, является правильная центровка валопровода, что, несмотря на отлаженность процесса, достаточно трудоёмкий технологический процесс. Задача несколько усложняется тем, что при монтаже отдельных составляющих пропульсивного комплекса – главный двигатель и его фундамент, опорные кольца и т.д., накапливаются погрешности монтажа. По техническим требованиям, эти отклонения не должны превышать 5 мм, что, впрочем, не предотвращает скопления небольших неточностей на момент монтажа непосредственно валопровода.

Также стоит упомянуть, что на некоторых проектах вдоль или над валопроводом проводятся различные трубопроводы масляной, топливной, и других систем жизнеобеспечения судна. Непосредственно к валопроводу идут системы охлаждения дейдвуда, и сжатого воздуха. Наличие большого количества труб над валопроводом, значительно увеличивает время демонтажа, а также снижает удобство обслуживания, к примеру, для затягивания болтов на тормозе валопровода необходимо пространство для инструмента с довольно длинным рычагом.

Задачами монтажа валопровода являются:

- обеспечение фактических нагрузок на подшипники, близких к расчётным
- установка ниток валопровода с заданным уклоном в соответствии с координатами чертежа
- обеспечение монтажных зазоров и плотного прилегания валов к вкладышам подшипников.

Общей базой для монтажа является теоретическая ось валопровода, положение которой задают по плазовым данным. Определение теоретической оси осуществляется пробивкой световой линии, с помощью стальной струны, оптическим способом (наиболее точный и распространённый метод).

Существуют два варианта монтажа: при наличии главного двигателя и его отсутствии. При этом различается количество и методы проведения операций по монтажу и центровке.

В общем и целом, операции при монтаже можно обобщенно разделить на следующие этапы:

- 1) Определение теоретической оси валопровода
- 2) Расточка по линии вала
- 3) Установка опор гребного вала
- 4) Центровка по изломам и смещениям, монтаж
- 5) Монтаж дейдвудных устройств
- 6) Монтаж гребного винта

Наиболее подробно технологические операции, которые являются составляющими перечисленных этапов монтажа, отражены в табл. 1

Таблица 1

Технологические операции при монтаже валопровода

№ операции	Операции	Кол-во рабочих	Трудоёмкость, чел-ч
I	Центровка дейдвуда	4	4
1.1	Установить дейдвуд	-	3
1.2	Натянуть через мишени струну диаметром 0,5 мм	-	1
II	Монтаж дейдвудного подшипника и дейдвудной трубы	-	59
2.1	Обработать поверхности посадочных поясков дейдвудного подшипника	8	32
2.2	Снять размеры внутреннего диаметра компенсирующих втулок	2	1
2.3	Запрессовать дейдвудный подшипник в компенсирующей втулке дейдвудной трубы, предварительно смазав свинцовым суриком	2	2
2.4	Зафиксировать положение дейдвудного подшипника	2	2
2.5	В дейдвудном подшипнике просверлить отверстие и нарезать резьбу для установки прибора замера посадки гребного вала	2	7
2.6	Заглушить отверстие пробкой	1	1
2.7	Предъявить ОТК и Регистру установку дейдвудного подшипника	-	-
2.8	Произвести монтаж дейдвудной трубы	5	8
2.9	Установить технологические заглушки на торце дейдвуда и произвести испытания дейдвудного устройства на герметичность. Испытание давлением 0,2Мпа в течении 30 минут водой	3	4
2.10	Снять гидравлические заглушки с дейдвудного устройства	2	2
2.11	Предъявить ОТК и Регистру установку дейдвудной трубы	-	-
III	Монтаж упорного подшипника к фундаменту	-	38
3.1	Измерить расстояние между фундаментом и опорным фланцем подшипника в месте выравнивания прокладок	2	2
3.2	Изготовить выравнивающие прокладки с припуском в 0,1 мм	2	3
3.3	Пригнать прокладки по месту под подшипник	2	2
3.4	Закрепить электросваркой выравнивающие прокладки к фундаменту	3	4
3.5	Просверлить отверстия через лапы подшипника в прокладках и фундаменты с припуском под следующую обработку	3	3
3.6	Развернуть отверстия под крепежные болты с припуском под последующую обработку	2	2
3.7	Развернуть отверстия чистовыми развертками	2	2
3.8	Измерить длину и диаметр призонной части болтов и изготовить их	2	5
3.9	Запрессовать крепежные болты, предварительно протерев салфеткой поверхности контакта	3	3



3.10	Установить и обжечь гайки крепления подшипников к фундаменту	3	5
3.11	Застопорить крепежные изделия подшипника и окраска	3	7
IV	Монтаж гребного вала	-	16
4.1	Проверить состояние облицовок вала и резиновых сегментов дейдвудного подшипника, густо смазать их мыльной эмульсией или касторовым маслом	4	5
4.2	В присутствии ОТК и Регистра завести вал в дейдвудный подшипник с помощью ручной лебедки	4	7
4.3	Произвести проверку прилегания гребного вала к подшипникам кронштейна, дейдвуда, зазоры в нижней части не допускаются, в верхней части могут быть 0,4-1,3 мм	3	4
V	Монтаж дейдвудного сальника	-	22
5.1	Завести прокладку и корпус дейдвудного сальника на гребной вал	3	4
5.2	По отверстиям во фланце корпуса просверлить отверстия и нарезать резьбу в вварыше сальника при условии наличия равномерного зазора между корпусом и валом	2	5
5.3	Закрепить корпус сальника штатным крепежом	3	3
5.4	С помощью специального приспособления залить зазор между корпусом сальника и вварышем полимерным материалом	3	4
5.5	После отверждения полимера закрыть заливочные отверстия технологическими заглушками	1	1
5.6	Установить сальниковую набивку и предварительно обжечь ее от руки (окончательное обжигание – после центровки валопровода по нагрузкам)	3	2
5.7	Произвести испытания дейдвудного сальника на непроницаемость подачей сжатого воздуха в штуцер подвода воды и обмыванием соединения (предварительно закрыть зазор со стороны кронштейна)	3	3
5.8	Предъявить ОТК и Регистру монтаж дейдвудного сальника	-	-
VI	Монтаж тормоза валопровода		68
6.1	Установить тормоз на фланце полумуфты гребного вала, проверить на краску прилегание ленты к фланцу (равномерное прилегание не менее 60% рабочей поверхности)	4	8
6.2	По месту снять размеры для изготовления подкладок, допустимая толщина 10-50 мм; изготовить подкладки в механическом цехе; завести подкладки под лапы тормоза, при этом должен быть обеспечен зазор 0,1-0,3 мм между лапой тормоза и подкладкой (величина выступа подкладки за пределы тормоза не более 5 мм);	5	40
6.3	Приготовить полимерный материал, вынуть подкладки и нанести слой полимера на обе стороны подкладки, установить подкладки в зазор	3	3



Продолжение Таблицы 1

6.4	После отвержения полимера через отверстия в лапах тормоза просверлить четыре отверстия под болты	2	2
6.5	Закрепить тормоз к фундаменту простыми болтами	3	2
6.6	Нанести тонкий слой солидола на стенки оставшихся двух отверстий и резьбовую часть двух болтов	2	1
6.7	В присутствии ОТК завести болты в отверстия фундамента и лапы корпуса, установить технологическую подкладку между головкой болта и фундамента	3	1
6.8	Навернуть насадку на специальные приспособления на резьбовую часть болта	3	2
6.9	Заполнить емкость полимером ввинчивая болт в насадку, заполнить зазор между стенкой и болтом полимером до его появления из под головки болта	3	2
6.10	Вывернуть насадку с резьбовой части болта, навернуть на болт штатную гайку	3	1
6.11	Убрать из под головки технологическую подкладку, затянуть болт гайкой	3	2
6.12	Повторить операцию для оставшихся двух болтов	3	3
6.13	Очистить приспособления и промыть ацетоном	3	1
VII	Погрузка упорного вала и сборка валопровода		23
7.1	Погрузить упорный вал в МО. Установить на подшипник. Закрывать крышку подшипника	5	10
7.2	Отцентрировать по изломам и смещениям полумуфту упорного вала к полумуфте гребного вала перемещением подшипника отжимными болтами	4	8
7.3	Соединить фланцы полумуфты упорного и гребных валов. Щуп толщиной 0,05мм не должен проходить между фланцами	4	5
VIII	Проверка центровки валопровода	5	25
VIII	Монтаж гребных винтов	7	50
Суммарная трудоёмкость монтажа двух валопроводов			610 чел/ч
Трудоёмкость, чел.ч/т при массе валопровода 2 т.			305 чел.ч/т

2. Приблизительная оценка финансовых затрат при монтаже валопровода показана в табл.

Таблица 2

Расчёт стоимости материалов на монтаж валопровода

Номер группы	Наименование расчётных единиц	Материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия и оборудование для строительства судна		
		Масса, т	Измеритель стоимости 1 т. массы, тыс. руб.	Сумма Р, тыс. руб.
Раздел Б. МЕХАНИЗМЫ				
XI	Валопровод и гребной винт	19	60	1140

Монтаж ВРК значительно проще, что связано с отсутствием необходимости центровки оси валопровода, монтажа опор, центровке по изломам и смещениям. Передача крутящего момента от фланца главного двигателя осуществляется через короткий вал, заканчивающийся в редукторе колонки.



Для ВРК проектируют и изготавливают фундамент, на который впоследствии закрепляют агрегат. Как и для схемы валопровод-винт, в табличной форме приведены технологические операции при монтаже ВРК, см. табл. 3

Таблица 3

Технологические операции при монтаже винто-рулевой колонки

№ операции	Операции	Кол-во рабочих	Трудоёмкость, чел-ч
1	Пробить линию ДП, с визуальным выносом на участок корпуса	2	2
2	Выполнить предварительную обработку опорных колец фундамента с припуском под окончательную мехобработку на судне	2	3
3	Выполнить сборку опорных колец фундамента в корпус, сварные швы испытать на непроницаемость	3	5
4	Установить, раскрепить расточной станок при помощи грузоподъёмных механизмов на опорное кольцо фундамента. Выполнить окончательную механическую обработку кольца	3	4
5	В канавку опорной поверхности механизма поворота установить кольцо, смазав перед этим канавку и кольцо смазкой АМС-3 ГОСТ 2712	2	2
6	Окончательно установить верхнюю часть ВРК на опорную поверхность	3	4
7	Выполнить установку крепежа	3	2
8	Предъявить монтаж ОТК	-	-
9	Установить нижнюю часть ВРК на транспортную тележку	4	5
10	Выполнить расконсервацию нижней части ВРК	4	2
11	При помощи грузоподъёмных механизмов вывесить вал вертикальный над нижней частью ВРК, завести вал в отверстие горловины корпуса нижнего редуктора до взаимного совмещения шлицевой пары сборочных единиц	4	3
12	Предъявить сборку ОТК	-	-
13	В канавку опорной поверхности нижнего редуктора установить кольца, смазав смазкой АМС-3 ГОСТ 2712	2	2
14	Перед сборкой все резьбовые соединения смазать пастой ВНИИ НП-232 ГОСТ 14068-79	3	2
15	В резьбовые отверстия корпуса нижнего редуктора ВРК установить 2 шпильки в диаметрально противоположных местах	2	1



16	При помощи грузоподъемных устройств окончательно соединить нижнюю часть ВРК с опорной сопрягаемой поверхностью верхней части ВРК, обеспечив взаимное сопряжение элементов шлицевого соединения	4	7
17	Выполнить окончательную установку шпилек редуктора ВРК	3	5
18	Закрепить фирменную табличку	1	1
19	Предъявить монтаж ОТК	-	-
20	Подключить все системы и гидравлику	5	48
Суммарная трудоёмкость монтажа двух ВРК			196 чел/ч
Трудоемкость, чел.ч/т при массе ВРК 55 т.			3,56 чел.ч/т

Приблизительная оценка финансовых затрат при монтаже ВРК показана в табл. 4.

Таблица 4

Расчёт стоимости материалов на монтаж ВРК

Номер группы	Наименование расчётных единиц	Материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия и оборудование для строительства судна		
		Масса, т	Измеритель стоимости 1 т. массы, тыс.руб	Сумма Р, тыс.руб
Раздел Б. МЕХАНИЗМЫ				
-	Винто-рулевая колонка	55	20	1100

Заключение

Таким образом, обобщая вышеперечисленные данные технико-экономического анализа, можно сделать следующие выводы:

Трудоемкость монтажа двух валопроводов с гребным винтом составила 610 чел.-ч, в то время как трудоёмкость двух ВРК всего 196 чел.-ч. В стоимостной оценке, монтаж двух валопроводов обойдется в 2 млн. 300 тыс. руб, в эту цену входят ориентировочные затраты на изготовление валопровода и гребного винта. Монтаж двух ВРК обойдется примерно в 2 млн 500 тыс. руб, с учётом пусконаладочных работ. Цены монтажа были приблизительно оценены, исходя из среднестатистической цены оборудования, и цен полуфабрикатов, применяемых при производстве. Можно сделать вывод, что несмотря на высокую стоимость ВРК по сравнению со схемой валопровод-винт, с технологической точки зрения и простоты монтажа предпочтительнее использовать винторулевую колонку. Совместимость узлов передачи крутящего момента в одном корпусе, возможность работы винта в различных направлениях, а также простота наладки делает ВРК привлекательным вариантом для использования на различных типах судов. Также, стоит отметить, что сокращенное время монтажа движительной части дает возможность сократить временные затраты на этом этапе, и, следовательно, снизить продолжительность постройки судна в целом.

Список литературы:

1. Сизых В.А. Судовые энергетические установки / В.А. Сизых. – М.: РКонсультант, 2006 – . 353с. Стр.145 – 151

2. Судовой валопровод. – URL: <https://mirmarine.net/dvs/811-sudovoj-valoprovod> (дата обращения: 11.06.2023)
3. Радченко О.П. Техническая эксплуатация судовых энергетических установок. Конспект лекций для студентов 5-го курса дневной формы обучения и 6-го курса заочной формы обучения специальности 7.100302 «Эксплуатация судовых энергетических установок». Изд-во «Керченский государственный морской технологический университет» 98309 г. Керчь, Орджоникидзе, 82. Электронный ресурс <https://nssound.ru/zvuk/vintorulevaya-kolonka-sudna-eto/>
4. Винторулевые колонки (ВПК) и системы Азипод. – URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/sudovoe-oborudovanie/142384-vinto-rulevye-kolonki-vrk/> (дата обращения: 11.06.2023)
5. Кончаков Е.И. Производство, монтаж и испытания судовых дизельных установок: учебное пособие [Электронный ресурс] / Инженерная школа ДВФУ. – Электрон. дан. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2014. [155 с.]
6. Колесник Д.В. Тенденции развития пропульсивных комплексов судов, эксплуатирующихся во внутренних водных путях/У: Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. — 2005. — № 14. — Одесса: ОНМА. – С. 45 – 49.
7. SCHOTTEL for the Shipping World. Standard Types. Информационный материал фирмы SCHOTTEL GmbH & Co. KG, Германия, 2005.
8. Взаимодействие элементов судового пропульсивного комплекса: Учебное пособие / Под ред. В.П. Мануйлова. — М.: ЦРИА «Морфлот», 1982 – 48 с.
9. Ходкость и управляемость судов: Учебник для ВУЗов / Под ред. В.Г. Павленко. — М.: Транспорт, 1991. — 397 с.
10. Корабел.РУ. – URL: https://www.korabel.ru/news/comments/что_нужно_знать_выбирая (дата обращения: 11.06.2023)

