

DOI 10.15589/jnn20170403  
 УДК 629.5.036  
 Б42

## PROSPECTS OF APPLICATION OF WATER JETS ON SURFACE WARSHIPS

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОМЕТНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ НА НАДВОДНЫХ КОРАБЛЯХ

Vadym Ye. Borysov  
 office@srdsc.com  
 ORCID: 0000-0002-0827-7480

Andrii Y. Voloshyn  
 office@srdsc.com  
 ORCID: 0000-0002-1955-4172

В. Е. Борисов,  
 гл. инж.

А. Ю. Волошин,  
 нач. сектора

*State Research & Design Shipbuilding Centre, Mykolaiv*

*Государственное предприятие «Исследовательско-проектный центр кораблестроения», г. Николаев*

**Abstract.** The article considers a number of aspects of the application of water jets (WJ) in surface warships and boats. Available sources do not feature any relevant data analysis on the efficiency of WJ application in the projects of surface warships. In order to reduce the risks related to the technical decisions made at initial stages of design, one should make use of processed sets of generalized and systematized data on the efficiency of WJ application. Analysis of WJ application has been performed depending on a warship's displacement, mission and class. The efficiency of WJ application as part of a propulsion plant configuration has been studied as well.

**Keywords:** propulsion plant; water jet propulsor; speed; efficiency; analysis; warship class.

**Анотація.** Розглянуто аспекти застосування водометних рушіїв на надводних кораблях і катерах. Проведено аналіз їх експлуатації в залежності від водоізміщення, призначення й класу корабля. Розглянуто ефективність їх використання в складі пропульсивних установок.

**Ключові слова:** пропульсивна установка; водометний рушій; швидкість; ефективність; аналіз; клас корабля.

**Анотация.** Розглянуто основні аспекти застосування водометних рушіїв на надводних кораблях і катерах. Проведено аналіз їхньої експлуатації залежно від водотоннажності, призначення й класу. Розглянуто можливості їхнього використання в складі пропульсивних установок.

**Ключевые слова:** пропульсивная установка; водометный рушій; швидкість; ефективність; аналіз; клас корабля.

## REFERENCES

- [1] Borisov Ye. A. *XX–XXI stoletiya v korablestroenii: energeticheskie ustanovki boevykh nadvodnykh korablye* [The 20-21st centuries in shipbuilding: propulsion plants of surface warships]. Nikolaev, Ilion Publ., 2011. 344 p.
- [2] Kurochkin D. V. *Korvety tipa «Visby»* [Visby corvettes]. *Istoriya korablya* [History of warships], 2004, issue 1, pp.14–32.
- [3] Unconventional propulsion systems. *Naval forces*, 2004, issue 1, vol. XXV.
- [4] Ragnar F. S. Exhaust Gas System with Sea Water Injection, Configuration and Operational Experience. *Mecon 2002: Conference Proceedings. Future orientated technologies*. Hamburg, 2002, pp. 182–184.
- [5] Harm-Friedrich Harms. Signature Reduction Management. *Mecon 2006: Conference Proceedings. Future orientated naval technologies*. Hamburg, 2002, pp. 93–95.
- [6] WARSHIPS OF THE WORLD, 68. JAHRGANG 2013–2015. *BERNARD & GRAEFE in der Monch Verlagsgesellschaft GmbH*. Bonn, 2013. 1022 p.
- [7] Kuzyk B. N. *Voennye floty mira* [Navies of the world]. Moscow, OOO «Natsionalnyy tsentr nauchno-tekhnicheskoy informatsii» Publ., 2005. 1250 p.
- [8] Saunders S. *Jane's Fighting Ships 2011-2012* Commandore Stephen Saunders RN. Coulsdon, IHS Global Limited Publ., 2011. 1020 p.
- [9] Henderson K. *Jane's Marine Propulsion*. Coulsdon, IHS Global Limited Publ., 2011. 661 p.
- [10] Rolls-Royce. Moving your business in the right direction. Propulsion. Available at: <http://www.rolls-royce.com>

- [11] WARTSILA. Solutions for Marine and Oil & Gas Market. Available at: <http://wartsila.com>  
 [12] WARTSILA Waterjets. Available at: <http://wartsila.com>  
 [13] MJP Ultrajet. Designers Guide. Available at: <http://marinejetpower.com>  
 [14] HamiltonJet. HT Series. Designers Brochure. Available at: <http://hamiltonjet.co.nz>

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При разработке новых проектов боевых надводных кораблей особое внимание уделяется комплексам, входящим в систему «корабль», которые отвечают и определяют его основные тактико-технические характеристики. Правильно рассчитанный, эффективно сконструированный пропульсивный комплекс обеспечивает оптимальную работу главных двигателей, высокую маневренность, экономичность и надежность корабельной платформы при выполнении боевых задач. Развитие и активное применение во второй половине XX века в проектах современных транспортных судов и водометных движителей (ВМД) в кораблестроении говорит об актуальности и перспективности их использования при разработке новых проектов кораблей.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

При выполнении комплексных технических работ на ранних стадиях создания новых проектов кораблей и катеров (техническое предложение, аванпроект и пр.) с целью снижения возможных рисков возникает необходимость оперировать обработанными массивами достоверных данных. Системный анализ данных об эффективности применения ВМД в проектах надводных кораблей и катеров в зависимости от классов, назначения и требований тактико-технического задания отсутствует, а опубликованные данные сильно разрознены.

Поэтому, основываясь на открытых статистических источниках по современным кораблям и катерам, следует обобщить имеющуюся информацию по эксплуатации в составе энергетических установок кораблей разных классов, размеров и водоизмещений водометных движителей и попытаться оценить эффективность их использования в проектах новых кораблей и катеров.

Область успешного применения ВМД не ограничивается быстроходными паромами и скоростными прогулочными яхтами. Из опыта зарубежного и отечественного кораблестроения известно, что водометные движители (ВМД) широко используются на патрульных кораблях, кораблях противоминной обороны и ряде небольших катеров. В последнее время четко прослеживается тенденция применения ВМД на кораблях больших водоизмещений классов корвет и фрегат (рис.1) [1–4, 6].

Причинами для использования ВМД на кораблях, судах, катерах ВМС и Береговой Охраны являются следующие основные преимущества этого типа движителей:

- корабли с ВМД могут эксплуатироваться на мелководье с глубинами, почти равными осадке корпуса;
- уменьшение сопротивления воды движению корабля вследствие снижения сопротивления выступающих частей;
- относительная простота изготовления реверсивно-рулевого устройства взамен более сложных реверсивных редукторов и рулевых устройств;



Рис. 1. Применение водометных движителей на кораблях, судах, катерах ВМС и Береговой Охраны различных стран в зависимости от класса, %

– высокая маневренность, обеспечиваемая реверсивно-рулевым устройством, воздействующим непосредственно на выбрасываемую струю воды;

– значительное сокращение длины и техническое упрощение конструкции валопроводов;

– возможность установки главного двигателя горизонтально или с минимальным наклоном, что улучшает его работу, а также упрощает размещение пропульсивного комплекса в целом;

– уровень подводного шума ВМД ниже, чем у гребного винта [2];

– снижение уровня электромагнитного поля за счет того, что все вращающиеся части пропульсивной установки расположены внутри корпуса корабля [2].

Изучая тенденции внедрения ВМД, следует отметить, что в последнее время появилось значительное количество комбинированных схем пропульсивного комплекса с применением ВМД. Как правило, в таких схемах ВМД выполняет роль ускорительного движителя. На сегодняшний день в иностранных технических изданиях уже предложена классификация подобных установок [3]:

– Water Jet and Refined Propellers' (WARP) — установка с ВМД и усовершенствованными винтами (подобная комбинация движителей используется на корветах ВМС ЮАР типа МЕКО А200);

– COPAW (combined POD and waterjets) — установка с движителями типа POD и ВМД;

– COTOW (combined rudder thruster and waterjets) — установка комбинированная, винт в рулевой поворотной насадке и (или) ВМД;

– COPOW — комбинированная установка с движителями типа «rump jet» и (или) осевыми ВМД;

– COCOW (combined cycloidal rudder or waterjets) — установка комбинированная, циклоидальный руль или ВМД;

– COWAN (combined waterjet and waterjet) — установка комбинированная, ВМД и ВМД.

Одним из весомых конструктивных преимуществ при разработке проекта корабля с применением ВМД является возможность организации системы газовыхлопа с трассировкой газоходов главных двигателей в транец корабля в район струи воды, которая образуется при работе движителя. При применении в этом случае дополнительного впрыска воды в поток выхлопных газов происходит их охлаждение и существенное снижение теплового излучения в верхнюю полусферу корабля в целом. Такое конструктивное решение способствует существенному уменьшению размеров дымовой трубы корабля или позволяет вообще обойтись без нее, освободив при этом полезную площадь на открытой части палубы [4, 5].

Основной недостаток водометного движителя — более низкий по сравнению с гребными винтами пропульсивный КПД, как правило, при скоростях движения до 25 уз, не превышающий 0,55. Это вызва-

но потерями мощности на подъем струи воды выше ватерлинии и преодоление дополнительного сопротивления в канале ВМД. Однако уменьшение сопротивления выступающих частей в значительной степени компенсирует этот недостаток, так что в конечном итоге эффективность водометного движителя иногда оказывается выше, чем обычного гребного винта.

**ЦЕЛЬ СТАТЬИ** — обосновать условия применения ВМД в составе энергетических установок кораблей разных классов, размеров и водоизмещений.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

– выполнить анализ применения ВМД на кораблях, судах, катерах ВМС и Береговой Охраны различных стран в зависимости от класса;

– разработать рекомендации по эксплуатации ВМД на кораблях;

– оценить эффективность применения ВМД на проектируемых кораблях по сравнению с другими движителями.

Метод исследования — системный и статистический анализы.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

*Анализ применения водометных движителей на кораблях, судах, катерах ВМС и Береговой Охраны различных стран в зависимости от класса.* На основании открытых источников [1, 6–14] был проведен анализ применения ВМД более чем на 600 кораблях и судах ВМС, катерах Береговой охраны, морской полиции, пограничной службы различных государств

в зависимости от класса, водоизмещения и скорости полного переднего хода (рис. 1, 2 и 3).

Выяснено, что наибольшее количество водометных движителей устанавливалось на патрульных катерах. Использование ВМД на патрульных катерах, в первую очередь, продиктовано необходимостью обеспечения высокой скорости и повышенной маневренности. Скорость, развиваемая катерами, зачастую превышает 40 уз (рис. 3).

Следующими по уровню применения являются десантные катера. Основные причины выбора ВМД в качестве движителя для десантных катеров заключаются в необходимости максимально близко подойти к береговой линии и маневрировать в условиях мелководья. Скорость, развиваемая ВМД, как правило, находится в диапазоне от 20 до 35 уз.

На корветах и фрегатах ВМД начали устанавливаться относительно недавно, но количество их возрастает из года в год. Более половины из всех рассмотренных кораблей и катеров имели скорость более 30 уз. Однако более чем для 40 % кораблей и катеров применение ВМД не связано с необходимостью достижения высокой скорости и получения высоких показателей пропульсивного коэффициента, и выбор данного типа движителей обоснован другими причинами.

Приведенная на рис. 4 обобщенная информация по максимальной подводенной мощности в серийно изготавливаемых в данный период времени ВМД свидетельствует о большом спектре их возможного использования в перспективных проектах надводных кораблей и катеров.

**Разработка рекомендаций по применению ВМД на кораблях и катерах.**

Отказ от использования данного типа движителя, как правило, был связан со следующими причинами:

- эксплуатация кораблей в районах, затруднительных для применения ВМД (районы с сильно засоренными и заросшими участками водоемов);
- неэффективность использования ВМД из-за его несоответствия заданной для корабля спектрограммы ходов;
- отсутствие опыта или неудачный опыт эксплуатации ВМД на флоте заказчика.

**Оценка эффективности применения водометных движителей на проектируемых кораблях по сравнению с другими движителями.**

В практике работ, проводимых в ГП «ИПЦК», проработка возможностей использования ВМД

встречается достаточно часто. Подобные испытания выполнялись для проектов (рис. 5):

- сторожевой катер «Ласка» (водоизмещение полное – 31,2 т; скорость – около 23 уз);
- быстроходный катер «Бриз-40» (водоизмещение полное – 44,5 т; скорость – 45 уз);
- десантно-штурмовой катер «Кентавр» (водоизмещение полное – 47,0 т; скорость – более 35 уз);
- малый ракетный катер «Комар» (водоизмещение полное – 140 т; скорость – 35 уз);
- патрульный катамаран «Бора» (водоизмещение полное – 130 т; скорость – 37 уз);
- ракетно-артиллерийский корабль «Каракал» (водоизмещение полное – 520 т; скорость – более 26 уз);
- многоцелевой корвет «Гайдук-М» (водоизмещение полное – 1200 т; скорость – 32 уз);
- перспективный украинский корвет пр. 58250 (водоизмещение полное – 2650 т; скорость – более 30 узлов) и др.

Для большинства из вышеперечисленных проектов эксплуатация ВМД была признана обоснованной.

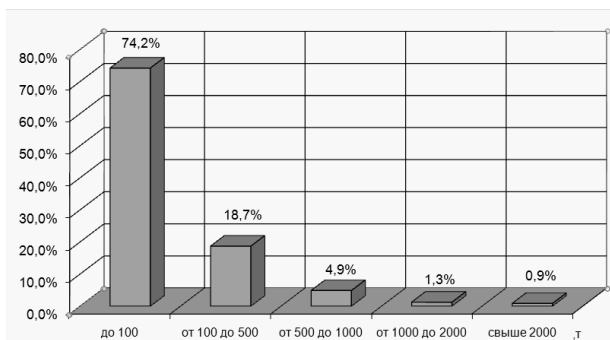


Рис. 2. Применение водометных движителей на кораблях различных стран в зависимости водоизмещения, т

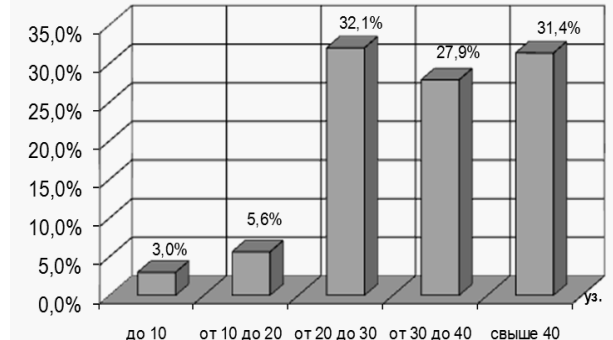


Рис. 3. Применение водометных движителей на кораблях различных стран в зависимости от скорости, уз

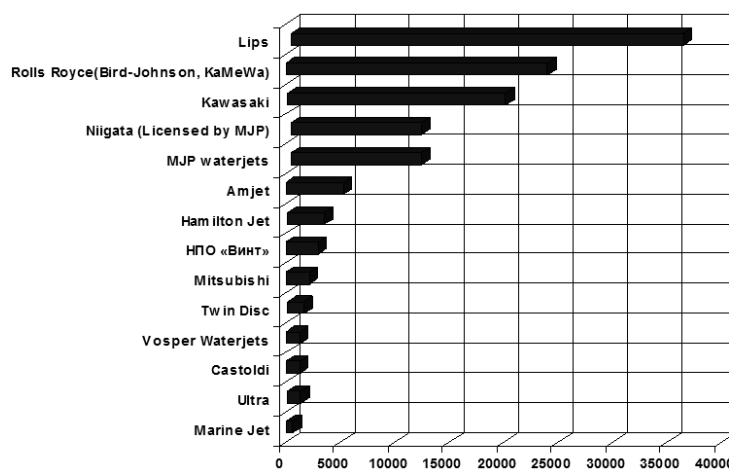


Рис. 4. Максимально подводенная мощность в серийно изготавливаемых ВМД [9–14], кВт



- **сторожевой катер «Ласка»**  
(водоизмещение, полное - 31,2 т; скорость - около 23 уз.);
- **быстроходный катер «Бриз-40»**  
(водоизмещение, полное - 44,5 т; скорость - 45 уз.);
- **десантно-штурмовой катер «Кентавр»**  
(водоизмещение, полное - 47,0 т; скорость - более 35 уз.);
- **малый ракетный катер «Комар»**  
(водоизмещение, полное - 140 т; скорость - 35 уз.);
- **патрульный катамаран «Бора»**  
(водоизмещение, полное - 130 т; скорость - 37 узла);
- **ракетно-артиллерийский корабль «Каракал»**  
(водоизмещение, полное - 520 т; скорость - более 26 узлов);
- **многоцелевой корвет «Гайдук-М»**  
(водоизмещение, полное - 1200 т; скорость - 32 узла);
- **перспективный украинский корвет**  
(водоизмещение, полное - 2650 т; скорость - более 30 узлов).

Рис. 5. Некоторые проекты ГП«ИПЦК», в которых велась проработка по использованию ВМД

**ВЫВОДЫ.** 1. Применение водометных движителей обосновано не только для кораблей и катеров заданной скорости полного хода не менее 40 уз, но также и для кораблей и катеров со специфичными кормовыми обводами, условиями эксплуатации (десантные корабли и катера), низкими по сравнению с гребными винтами уровнями подводного шума и электромагнитного поля, высокой маневренностью.

2. Современное развитие техники позволяет реализовать эффективные, с точки зрения гидродинамики, ВМД с большими диаметрами импеллеров (более 2 м) и мощностью, подведенной к движителю более 20 МВт (рис. 4).

3. Вероятно, количество ВМД, устанавливаемых на кораблях большого водоизмещения, в ближайшие годы будет увеличиваться.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Борисов Е. А.** XX-XXI столетия в кораблестроении: энергетические установки боевых надводных кораблей [Текст] / Е. А. Борисов. — Николаев : Илион, 2011. — 344 с.
- [2] **Курочкин Д. В.** Корветы типа «Visby» [Текст] / Д. В. Курочкин // История корабля. — 2004. — № 1. — С.14–32.
- [3] Unconventional propulsion systems. Naval forces. — 2004. — № 1. — vol. XXV.
- [4] **Ragnar F. S.** Exhaust Gas System with Sea Water Injection, Configuration and Operational Experience [Текст] / F. S. Ragnar // Mecon 2002: Conference Proceedings. Future orientated technologies. — Hamburg, 2002. — Pp. 182–184.
- [5] **Harm-Friedrich Harms** Signature Reduction Management [Текст] / H. F. Harm // Mecon 2006: Conference Proceedings. Future orientated naval technologies. — Hamburg, 2002. — Pp. 93–95.
- [6] WARSHIPS OF THE WORLD, 68. JAHRGANG 2013-2015 [Текст] // BERNARD & GRAEFE in der Monch Verlagsgesellschaft GmbH. — Bonn, 2013. — 1022 p.
- [7] **Кузык Б. Н.** Военные флоты мира [Текст] / Б. Н. Кузык, В. И. Никольский, Н. Н. Новичков. — М. : ООО «Национальный центр научно-технической информации», 2005. — 1250 с.
- [8] **Saunders S.** Jane's Fighting Ships 2011–2012 Commdore Stephen Saunders RN [Текст] / S. Saunders. — Coulsdon : IHS Global Limited, 2011. — 1020 p.
- [9] **Henderson K.** Jane's Marine Propulsion [Текст] / K. Henderson. — Coulsdon : IHS Global Limited, 2011. — 661 p.
- [10] Rolls-Royce. Moving your business in the right direction. Propulsion [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.rolls-royce.com>
- [11] WARTSILA. Solutions for Marine and Oil & Gas Market [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://wartsila.com>
- [12] WARTSILA Waterjets [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://wartsila.com>
- [13] MJP Ultrajet. Designers Guide [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://marinejetpower.com>
- [14] HamiltonJet. HT Series. Designers Brochure [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://hamiltonjet.co.nz>

© В. С. Борисов, А. Ю. Волошин

Надійшла до редколегії 14.11.17

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК  
д-р техн. наук, проф. А. П. Шевцов