

**Referens:**

1. Propulsive unit and engine operating condition. Textbook manual: B. P. Bashurov: Novorossiysk Maritime State University named for. F. Ushakov 2001-146 p.
2. Operation and maintenance, reliability, propulsion unit repairability M. P. Sereda: Novorossiysk Maritime State University named for. F. Ushakov 2008-116 pages.
3. [https://www.researchgate.net/publication/313213208\\_Design\\_metrics\\_for\\_evaluating\\_the\\_propulsive\\_efficiency\\_of\\_future\\_ships](https://www.researchgate.net/publication/313213208_Design_metrics_for_evaluating_the_propulsive_efficiency_of_future_ships)
4. The experience of operating dual fuel diesel engines. Khalilov.N. A., Strakhova.N. A. Vestnik AGTU. Marine engineering and technology series. 2011. №2.
5. Epihin A.I., Kondrat'ev S.I., Hekert E.V. Primenenie nejronnyh setej na baze mnogoslajnogo perceptrona s ispol'zovaniem nechetkoj logiki dlya tekhnicheskoy diagnostiki sudovyh tekhnicheskikh sredstv//Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2020. № 3 (96). S. 111-119
6. Epihin A.I., Kondrat'ev S.I., Hekert E.V. Prognozirovanie mnogomernyh nestacionarnyh vremennyh ryadov s ispol'zovaniem nejromodelirovaniya//Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 23-27.
7. Kondrat'ev, S.I. Teoreticheskie osnovy upravleniya krupnotonnazhnyimi sudami po kriteriyam bezopasnosti i energosberezheniya [Tekst] / S.I. Kondrat'ev avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Novorossiyskaya gosudarstvennaya morskaya akademiya. Novorossiysk, 2004
8. Kondrat'ev S.I. Sintez programmnyh traektorij metodom dinamicheskogo programmirovaniya [Tekst] / S.I. Kondrat'ev // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2003. № S6. S. 41-43.
9. Epihin A.I., Hekert E.V., Karakaev A.B., Modina M.A. Osobennosti postroeniya prognosticheskoy nejro-fazzi seti//Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 13-17.
10. Epihin A.I., Hekert E.V., Modina M.A. Principy nejroupravleniya i varianty arhitektury nejronnyh setej, primenitel'no k slozhnoj dinamicheskoy sisteme SEU-SUDNO//Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 18-22.
11. Epihin A.I., Kondrat'ev S.I., Hekert E.V. Prognozirovanie mnogomernyh nestacionarnyh vremennyh ryadov s ispol'zovaniem nejromodelirovaniya//Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 23-27.
12. Pechnikov A.N., Hekert E.V. Ergonomicheskij podhod k ocenivaniyu deyatelnosti sudovyh specialistov: eksperimental'naya aprobatsiya predlozhennyh modelej i procedur//Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 4-3 (46). S. 104-110.
13. Pechnikov A.N., Hekert E.V., Savel'ev V.G., Aderihin I.V. Ergonomicheskij podhod k ocenivaniyu deyatelnosti sudovyh specialistov: modeli transformacii dejstviya v processe ego osvoeniya i procedura ih prakticheskogo primeneniya//Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 1-2 (43). S. 104-111.

**УДК 629.5**

DOI: 10.34046/aumsuomt97/21

**ИННОВАЦИОННЫЕ 3D-ТЕХНОЛОГИИ В СУДОСТРОЕНИИ И СУДОРЕМОНТЕ. ОБЗОР ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ**

*Н.А. Халилов, старший преподаватель  
Д.В. Огурцов, кандидат технических наук. т.н  
О.П. Коперчак, кандидат экономических наук,*

В последнее время мы наблюдаем быстрый рост и развитие 3D-технологий, которые охватывают все новые виды производства. Обладая огромными преимуществами в технологии производства, в настоящее время использование 3D-печати связано с большим спектром вопросов правового и технического регулирования, требующих своего решения. Сегодня, практически во всех странах, за редким исключением, ни одна из составляющих аддитивных технологий не подлежит обязательному подтверждению соответствия. Судостроительная отрасль не является исключением. В работе проведен анализ современных проблем подтверждения качества изделий судостроения, полученных методами 3D-печати, и возможным путем их решения.

**Ключевые слова:** Аддитивные технологии, 3D-сканирование, 3D-печать, судостроительное производство, судоремонтное производство, техническое регулирование, сертификация, внедрение новых технологий.

**3-D TECHNOLOGIES IN SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR. OVERVIEW OF THE CURRENT STATE**

*N.A. Khalilov, D.V. Ogurtsov, O.P. Koperchak*

In the last decade, we have seen the rapid growth and development of 3D technologies that are taking over all new industries. Possessing great advantages in production technology, currently the use of 3D printing is associated with a wide range of legal and technical regulation issues that need to be addressed. Today, in almost all

countries, with rare exceptions, none of the components of additive technologies is subject to mandatory confirmation of conformity. The shipbuilding industry is no exception. The paper analyzes modern problems of confirming the quality of shipbuilding products obtained by 3D printing methods and possible ways to solve them.

**Keywords:** Additive technologies, 3D scanning, 3D printing, shipbuilding, ship repair, technical regulation, certification, introduction of new technologies.

### Введение

История развития судовой техники, начиная с первых паровых машин свидетельствует, что передовые технологии после своего появления вначале внедряются и совершенствуются в береговых отраслях промышленности и не имеют своего широкого применения на транспортных судах. В первую очередь из-за того, что судостроение и судоремонт традиционно консервативные отрасли. Корни этой консервативности кроются в большом риске, который и в наше время, несмотря на все достижения техники, определенно существует для судна и экипажа, находящихся во власти морской стихии. А также в риске судовладельцев и страховых обществ от ущерба порчи или потери имущества, стоимостью в миллионы долларов.

И только через определенное время, успешно выдержав испытания и обкатку в береговых условиях, доказав свою экономическую состоятельность, эксплуатационную надежность и безопасность, новые технологии получают одобрение страховых обществ, осуществляющих технический надзор за судами и начинают внедряться в судостроении и судоремонте.

Проведя обзор многочисленных открытых источников, авторы доклада (статьи), пришли к выводу, что в настоящее время существующие технологии 3D-печати при всех своих очевидных достоинствах и перспективах имеют следующие проблемные вопросы, помимо перечисленных выше технических задач, без решения которых внедрение аддитивных технологий в судостроение и судоремонт будет препятствовать, тормозить:

1. Нет государственной политики, способствующей развитию и внедрению аддитивных технологий, в т.ч. в области разработки необходимых стандартов

2. Не выявлена заинтересованность и поддержка Классификационных обществ, которые в качестве наблюдателей принимая участие в отдельных «громких» проектах, призванных лоббировать интересы разработчиков и производителей *технологий и оборудования*, пока не спешат проводить процедуру их одобрения и разработку необходимой классификационной нормативно-технической документации, без чего невозможно их дальнейшее внедрение.

3. Авторские и смежные права. Для изготовления деталей и сборочных единиц с использованием аддитивных технологий требуется конструкторская документация и 3-D модель или трехмерная *сканкопия* существующего образца, права на которые находятся у многочисленных разработчиков и производителей судовой техники, использующих традиционные технологии изготовления.

### Задачи, которые необходимо решить с помощью 3D-технологий в морской отрасли

В судостроении основной задачей 3D-измерений является увеличение степени автоматизации процессов, а значит и повышение точности изготовления различных деталей, увеличение к.п.д изготовления, а также повышение качества.

3D-измерения, проводимые с помощью специальных приборов и разметка лазерными 3-D проекторами могут быть использованы для:

#### 1.1. Корпусное производство:

-Плазовые работы для корпусов. Изготовление различной оснастки, шаблонов с применением специального лазерного оборудования;

- Технологическая обработка листов и профиля для корпуса судна. Специализированный контроль в 3 плоскостях в процессе правки и механической обработки проката;

- Тепловая резка проката. Оценка геометрических размеров направляющих путей оборудования для специальной тепловой резки и точности отработки специальным инструментом заданной программы. Процесс разметки различных деталей с помощью 3-D проекторов. Геометрический контроль плоскостности и прямолинейности после механической обработки детали;

- Гибка и правка листовых деталей для корпуса судна. Разметка, контроль погиби крупных листовых деталей; Изготовление различных деталей из профиля.

#### 1.2. Сборочно-сварочное производство, сборочные работы:

- Операции по разметке деталей с помощью специальной 3-Д аппаратуры;

- Оценка совмещения стыков, взаимного расположения при сборке листов корпуса судна. Оценка точности 3D геометрии листового металла по окончании сварки;

- Замеры и оценка 3D геометрии, параллельности и неплоскостности при установке набора корпуса и после его сварки;

- Замеры и оценка 3D геометрии параллельности и неплоскостности при сборке объемных секций корпуса;

- Ориентация деталей при сборке крупногабаритных секций корпуса;

1.3. Корпусосборочное производство, поверочные работы:

- Установление необходимых базовых отметок на построечном месте;

- Проверка точного положения устанавливаемых корпусных деталей судна;

- Проверка геометрических размеров корпуса судна при постройке;

- Нанесение на корпус нового судна необходимых эксплуатационных линий и специальных знаков.

1.4. Трубообрабатывающее производство:

- Контроль размеров и геометрии труб;

- Контроль размеров и геометрии шаблонов труб;

1.5. Монтажное производство:

- Механическая подгонка различных сопрягаемых поверхностей. Оценка геометрических размеров опорных и сопрягаемых поверхностей судовых фундаментов для главных и вспомогательных механизмов и оборудования;

- Точное определение расположения механизмов на судне.

1.6. Монтаж слесарно-корпусного оборудования, монтаж оборудования для судовой вентиляции:

- Разметочные работы;

- Контроль геометрии при установке оборудования по месту.

2. В судоремонтном производстве добавляются специализированные задачи:

- Быстрый замер геометрии изношенных деталей с целью оперативного принятия решения о необходимости ремонта или замены отдельных деталей или участков. (Для примера – быстрый замер геометрии и размеров поврежденного гребного винта морского судна, ставшего в ремонт, который производится в сухом доке без снятия винта позволяет в течение короткого времени принять решение о возможности ремонта на месте, или необходимости ремонта в условиях специализированного цеха, или если есть необходимость замены на новый);

- Оперативное создание по результатам 3D-сканирования чертежей оборудования вместо вышедших из эксплуатации (реинжиниринг).

- Оперативный контроль на судне геометрии участков, подлежащих ремонту или замененных на новые. [1], [3].

#### Пример использования 3D-печати в судоремонте

В судоремонтной отрасли интересен опыт Национального научно-технологического института Чжун Шань в Тайване, который внедрил одним из первых систему 3D-печати с помощью металла [2].

Данная машина для аддитивного производства изготавливает детали высокого качества (рис. 1) для подводных лодок типа SeaLion, Sea Tiger и Sea Dragon. Данными подводными лодками оснащена армия Тайваня. Эта машина для 3D-печати изготавливает детали с прочностью на разрыв до 1100 МПа, пределом текучести до 950 МПа и твердостью, превышающей 30 HRC. Продукция представленного 3D-принтера отвечает всем стандартам качества аэрокосмических материалов AMS-6514, а также экономически выгоднее в сравнении с деталями, изготовленными по традиционным технологиям.



Рисунок 1 – 3D-Машина аддитивного производства изготавливает запасные детали для оборудования

Впервые в судостроении изготовленный на 3D-принтере морской гребной винт WAAMPeller

успешно прошел испытания на судне. Указанный гребной винт был спроектирован и изготовлен

группой компаний: RAMLAB, Promarin, Autodesk, Bureau Veritas и Damen. Впоследствии он получил официальное одобрение органом технического надзора - классификационным обществом Bureau Veritas. Испытания этого винта были произведены

на морском буксире Stan Tug 1606 в присутствии всех представителей компаний. Завершающим этапом этого испытания стало разрешение к техническому использованию и эксплуатации.



Рисунок 2 – Процесс печати на 3D-принтере судового гребного винта



Рисунок 3 – Приемка судового винта представителями пяти компаний: RAMLAB, Promarin, Autodesk, Bureau Veritas и Damen. [4]

#### Перспективы аддитивных технологий

**Приведем факторы, наличие которых позволят 3D-технологиям занять лидирующее место в судостроительной отрасли:**

- Наличие финансовой поддержки для проведения научных разработок и внедрения технологий;

- Неизбежный рост научно-технического прогресса;

- Продолжение развития отечественной инженерной мысли и традиций в области инновационных идей;

- Неуклонный рост числа инженеров интеллектуальных специальностей;

- Внедрение необходимых базовых знаний об аддитивных технологиях в сфере образования;
- Рост воздействия аддитивных технологий на машиностроительные отрасли;
- Развитие исследования в области совместной работы 3D-принтеров с 3D-сканерами. [3].

#### **Проблемы сертификации, приемки изделий, изготовленных по аддитивным технологиям и правового регулирования**

Главными проблемами аддитивного изготовления деталей для морской отрасли можно отнести следующие задачи:

- выбор материала, соответствующего параметрам детали, а также технологии и способа печати;
- выбор материала и технологии, которые предотвращают возможные усадочные деформации;
- определение при изготовлении детали необходимых физических, механических и эксплуатационных характеристик материалов;
- задание необходимой геометрической точности при изготовлении изделия;
- определение мореходных характеристик в случае изготовления деталей корпусов судов;
- разработка инженерами рабочей конструкторской документации (РКД) для изделия;
- точный расчет технико-экономических параметров изделий;
- определение необходимой трудоемкости при изготовлении изделия;
- составление необходимой технологической документации для изготовления изделия;
- разработка необходимой документации для согласования различных свойств изделий с отделом технического контроля;
- разработка необходимой документации о сертификации качества изделий, изготовленных аддитивными методами для судоремонтной и судостроительной отрасли.

Не только в российском но и в мировом законодательстве существует многоправовых пробелов в области аддитивных технологий [5, 6].

Одними из первых кто получил разрешение на изготовление деталей для оборудования для подводных лодок при помощи аддитивных технологий, стала немецкая компания «Thyssen Krupp Marine Systems» [7]. Эта фирма прошла необходимое лицензирование международно-сертификационного общества DNV GL и в настоящее время может устанавливать детали, изготовленные аддитивным способом на подлодки. Полученный сертификат позволяет этой компании

производить обрабатывать конструкционные элементы из аустенитной и нержавеющей стали. [5]

#### **Заключение**

Сегодня с бурным развитием научно-технического прогресса в том числе и в судостроении и в судоремонте с такими технологиями, как 3D-печать, 3D-сканирование, цифровые двойники, «зеленые» безтопливные технологии и т.д. – можно говорить о следующем периоде развития судостроения в контексте Индустрии 4.0. Данные технологии в большой степени значительно улучшают технические данные судна. С использованием данных технологий суда станут более безопасными, быстрыми, экологичными и удобными в техническом обслуживании и ремонте. Успешное внедрение новых функциональных нововведений в морской индустрии позволит значительно снизить стоимость обслуживания, существенно повысить его экономическую эффективность, качество и надежность [7]. Ввод аддитивных технологий в морские отрасли тормозят, главным образом, не необходимость предприятий в крупных финансовых вложениях, а проблемы правового и законодательного регулирования. Когда нет понятных и четких требований к сертификации, стандартизации и приемке качества изделий, изготовленных с помощью аддитивных технологий, представителю Регистра, отделу технического контроля практически невозможно «сдать» изделие, доказать, что оно соответствует по всем параметрам или даже превосходит по многим показателям аналоги, изготовленные традиционными методами, соответствует требованиям Стандартов к продукции морской отрасли. В настоящее время необходимо сосредоточить решение проблемы внедрения аддитивных технологий именно в этом вопросе, чтобы они смогли занять место на уровне промышленного оборудования. В недалеком будущем такие недостатки 3D-принтеров, как габариты устройств и получаемых деталей, скорость изготовления, ограниченность материалов, необходимость в последующей механической обработке будут устранены. Уверенность в этом вызывает рост числа патентов в сфере аддитивных технологий, направленных на модернизацию самих устройств и технологий, и на улучшение технологического комплекса работы с 3D-печатным оборудованием.

Одним из основных направлений патентования аддитивных технологий – это разработка нормативных руководящих документов по образцу типовых технологических процессов, технологической, нормировочной документации.

Следующим направлением для решения проблем стандартизации 3D-печати будет разработка и выпуск необходимой руководящей документации по принципиальной и рабочей технологиям изготовления объектов и изделий морской техники аддитивными методами. На данный момент, в судостроении изготавливают изделия и детали, для которых не требуется обязательная процедура сертификации [8]. Номенклатура данной продукции включает в себя маломерные пластмассовые суда, некоторые виды изделий машиностроительной техники, отдельные части судовых систем, неотчетственные узлы и детали, испытательные модели и т.д. Небольшое количество квалифицированных специалистов и отсутствие национальных стандартов значительно сдерживает темпы развития аддитивного производства продукции на промышленном уровне.

В перспективе должны быть разработаны новые стандарты, и должны быть учтены все особенности аддитивного производства в морской отрасли.

#### Литература

1. Попадюк С.С. 3-D технологии в судостроении //Атоматизация судостроения. –2017.– №2.
  2. Гребной винт, напечатанный на 3D-принтере испытали на судне.//Судостроение.инфо (Sudostroenie.info).Декабрь. 2017. <https://sudostroenie.info/novosti/21291.html>.
  3. Морозов В. Н. Аддитивные технологии в судостроительной промышленности и перспективы их развития// Морские интеллектуальные технологии.– 2017.– 4 (38).– Т.2.
  4. Баева Л.С., Маринин А.А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов //Вестник МГТУ.– 2014.– том 17.– № 1.– С. 7-12.
  5. Яфасов А.Я. Аддитивные технологии в судостроении: тенденции и правовое регулирование// Морские интеллектуальные технологии.– 2019.–№ 4.– том 4.
  6. Основы технической эксплуатации флота и судоремонт: учебное пособие /К.Б. Пальчик, О.П. Коперчак.– Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2011.– 152 с.
- Электронные ресурсы:
7. <http://blog.iqb-tech.ru/additive-technologies-shipbuilding>
  8. <http://blog.iqb-tech.ru/shipbuilding-4-0>
  9. [http://www.remmag.ru/upload\\_data/files/2017-02/iQB.pdf](http://www.remmag.ru/upload_data/files/2017-02/iQB.pdf)
  10. <http://integral-russia.ru/2017/04/03/additivnye-tehnologii-v-sudostroenie-nastovashhee-i-budushhee/>
  11. Епихин А.И., Хекерт Е.В. Система поддержки принятия решений с модульной структурой для операторов судов двойного действия. Патент на изобретение RU 2713077 C1, 03.02.2020. Заявка № 2019114000 от 06.05.2019.
  12. Епихин А.И., Кондратьев С.И., Хекерт Е.В. Применение нейронных сетей на базе многослойного перцептрона с использованием нечеткой логики для технической диагностики судовых технических средств// Эксплуатация морского транспорта.– 2020.– № 3 (96).– С. 111-119.

#### Referens:

1. Atomatizacija sudostroenija. №2.2017. S.Popadjuk. 3-D tehnologii v sudostroenii.
  2. Sudostroenie.info (Sudostroenie.info). Dekabr'.2017.Grebnoj vint, napechatannyj na 3D-printere ispytali na sudne.
  3. Morskie intellektual'nye tehnologii . 4 (38) T.2 2017. V. N. Morozov.
  4. Additivnye tehnologii v sudostroitel'noj promyshlennosti i perspektivy ih razvitija.
  5. Vestnik MGTU, tom 17, № 1, 2014 g. str.7-12. L.S. Baeva, A.A. Marinin Sovremennye tehnologii additivnogo izgotovlenija ob#ektov L.S. Baeva, A.A. Marinin Modern technologies of additive manufacturing of objects.
  6. Morskie intellektual'nye tehnologii . № 4 tom 4, 2019/№ 4 part 4, 2019.
- A.Ja.Jafasov. Additivnye tehnologii v sudostroenii: tendencii i pravovoe regulirovanie.
- Jelektronnye resursy:
7. <http://blog.iqb-tech.ru/additive-technologies-shipbuilding>
  8. <http://blog.iqb-tech.ru/shipbuilding-4-0>
  9. [http://www.remmag.ru/upload\\_data/files/2017-02/iQB.pdf](http://www.remmag.ru/upload_data/files/2017-02/iQB.pdf)
  10. <http://integral-russia.ru/2017/04/03/additivnye-tehnologii-v-sudostroenie-nastovashhee-i-budushhee/>
  11. 12.Epihin A.I., Hekert E.V. Sistema podderzhki prinyatiya reshenij s modul'noj strukturoj dlya operatorov sudov dvojnogo dejstviya. Patent na izobretenie RU 2713077 C1, 03.02.2020. Zayavka № 2019114000 ot 06.05.2019.
  12. Epihin A.I., Kondrat'ev S.I., Hekert E.V. Prime-nenie nejronnyh setej na baze mnogoslajnogo per-ceptrona s ispol'zovaniem nechetkoj logiki dlya tekhnicheskoy diagnostiki sudovyh tekhnicheskikh sredstv// Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2020. № 3 (96). S. 111-119.