



## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРИ СЕРИЙНОМ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРОДУКЦИИ НА ПРИМЕРЕ ТУМБЛЕРА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ СУДОВОГО

А.В. Дектярев, аспирант каф. кораблестроения ФСЭ  
инженер-технолог II кат., УКТПП, АО ПСЗ «Янтарь»  
e-mail: a.dektyarev@shipyard-yantar.ru  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

П.Р. Гришин, аспирант каф. кораблестроения ФСЭ,  
инженер каф. кораблестроения ФСЭ  
e-mail: pchel2000@gmail.com  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

А.В. Пчелинцев, инженер-технолог-нормировщик I кат,  
сборочно-сварочный цех,  
e-mail: alex\_pch\_89@mail.ru  
АО ПСЗ «Янтарь»

В.Н. Морозов, доц. каф. кораблестроения, канд. техн. наук  
e-mail: mvn3613@gmail.com  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

Данная работа продолжает цикл исследований по применимости объектов морской техники к аддитивному производству. Ранее были изготовлены колпачки защитные для системы судовой пожарной автоматики «Барк-М» и крыльчатки для мотора охлаждения двигателя системы судовой вентиляции. Однако их изготовление было проведено в мелкосерийном масштабе. В представленной статье рассматриваются особенности крупносерийного изготовления продукции судового машиностроения на примере тумблера судового выключателя «Т5-М» методами аддитивных технологий. В качестве оборудования для аддитивного производства используется низкобюджетная «домашняя» модель 3D-принтера Creality Ender 3. В работе приводятся технические характеристики выключателя судового и частота его поломок, возможности применения 3D-печати при крупносерийном производстве, обоснование выбора материала для изготовления продукции данного типа, технологический цикл производства, технико-экономический анализ изготовления тумблера и оценка окупаемости 3D-печатного производства.

***Ключевые слова:** 3D-печать, аддитивные технологии, крупносерийное производство, судостроение, судоремонт, тумблер, выключатель судовой*

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на большой интерес науки и промышленности к аддитивным технологиям, 3D-печать еще не достигла крупносерийного объема производства. На это влияют, главным

образом, технологии аддитивного изготовления объектов, которые ограничены физической сущностью процессов осаждения материалов.

Серийное производство является одним из основных видов организации массового производства. Оно характеризуется такими параметрами, как производство сериями относительно ограниченной повторяющейся номенклатуры продукции, типизация технологических процессов, наличие специализированного оборудования и рабочих мест, использование рабочих средней квалификации, относительная непродолжительная длительность производственного цикла и т.д. У подобного производства имеется немало трудностей: недостаточное внимание к планированию качества при разработке продукта и производственному процессу, чрезмерно длительное время разработки, пренебрежение возможностями для постоянного совершенствования [1] и т.д.

У 3D-печати, несмотря на многие преимущества относительно мелкосерийного и единичного производства, имеются ограничения к серийному изготовлению продукции: скорость печати, доступность сырьевых материалов, частота процессов постобработки, износ комплектующих и т.д. Это ведет к затруднению внедрения аддитивных технологий в массовое производство.

Данная работа является продолжением цикла исследований по применимости аддитивных технологий к судостроению [2], где ранее были изготовлены, в мелкосерийном формате, защитные колпачки для системы судовой пожарной автоматики, крыльчатки для мотора охлаждения двигателя, а также модель судна для испытаний в опытовом бассейне.

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования выступает выключатель судовой марки Т5-М. Он используется на судах речного и морского флота при работах, связанных с подключением или отключением цепей постоянного и переменного тока напряжением до 220 В и максимальным током до 16 А; обладает высокой степенью защиты, поэтому может быть применен в местах с повышенной влажностью или высоким уровнем запыленности. Основные характеристики прибора приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Технические характеристики выключателя судового «Т5-М»

№ п/п	Название характеристики	Значение
1	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
2	Постоянное напряжение, В	220
3	Номинальный ток, А	10
4	Максимальный ток, А	16
5	Количество сальников, шт.	2
6	Гарантийный срок эксплуатации	Не менее 1 года (10 тыс. циклов при температуре воздуха от -40 °С до +60 °С)
7	Срок службы	Не менее 5 лет (при соблюдении условий эксплуатации)

На судах устройство предназначено для управления электроустановками судового типа. Выключатели данного типа используются на судах в основном для подключения переносного оборудования, как коммутационные аппараты с ручным приводом для нечастых включений и отключений маломощного оборудования, а также в качестве выключателя освещения. Их установка развешена как внутри помещений, так и на открытых палубах.

Одной из наиболее частых поломок выключателей подобного вида является выход из строя рукояти тумблера. Так как рукоять не изготавливается отдельно и идет только в комплекте, среднерыночная стоимость которого составляет около 1,3 тыс. руб. [3], то изготавливать рукоять было решено аддитивными методами. Однако из-за острой необходимости в запасных рукоятках нужно было изготовить их в количестве 50 шт.

Как при индивидуальных, так и при серийных заказах 3D-принтер – это 10-20 % от полноценного производства. Для полного производственного цикла необходимо дополнительное оборудование и серьезная инженерная подготовка помещений [4].

В [5] рассматривается методика так называемого инкрементного производства, где 3D-печать сочетается с процессами литья, фрезерными работами и используется лишь частично. Инкрементное производство призвано увеличить объем выпуска продукции до крупносерийного масштаба за счет применения нескольких производственных процессов, сочетая преимущества и уменьшая недостатки каждого метода изготовления продукции. Однако на создание роботизированного инкрементного производства требуются большие финансовые затраты. Также оно предусматривает поточную линию изготовления объектов для окупаемости вложенных средств.

В [6, 7] представлены методы модернизации самого оборудования (3D-принтеров) под увеличение производительности, в том числе и средне-, и крупносерийного производства объектов. В [6] приводится обоснование модернизации 3D-принтера, по подобию инкрементного производства, ножами, режущими пластины в процессе печати. В [7] рассматривается параллельный FDM-принтер, способный использовать несколько одновременно независимо перемещающихся экструдеров для создания цельной модели. Однако для подобных принтеров необходимы дополнительные исследования относительно определения на основе численного моделирования кинематических и термодинамических характеристик расплавленного пластика в области перегиба канала экструдера.

Прочие исследования [1, 8] основываются на обзорной систематизации данных и дают теоретическое представление о применимости аддитивных технологий к серийному производству, а некоторые [9] – теоретико-экспериментальные процессы создания изделий аддитивными методами на предприятиях, специализирующихся на крупносерийном изготовлении продукции.

Представленная работа описывает возможности низкобюджетного принтера Creality Ender 3 с характеристиками, представленными в табл. 2, относительно серийного производства мелких деталей.

Таблица 2 – Характеристики 3D-принтера Creality Ender 3

№ п/п	Название характеристики	Значение
1	Размер печати, мм	220x220x250
2	Максимальная скорость движения, мм/с	180
3	Толщина слоя, мм	0,1-0,4
4	Диаметр сопла, мм	0,4
5	Точность печати, мм	±0,1

Как можно видеть из табл. 2, ввиду малого объема рабочей платформы при печати изделий серийно необходимо заранее располагать наибольшее количество печатаемых объектов на платформе принтера для более быстрого процесса производства.

## **ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Цель работы – продемонстрировать технологический цикл и особенности серийного изготовления изделий судового машиностроения на примере тумблера судового выключателя Т5-М при помощи низкобюджетной «домашней» модели 3D-принтера.

## **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исходя из ранних исследований относительно физико-механических характеристик материалов углеводородной химии, пригодных для аддитивного производства [10, 11], печать тумблера происходила из PLA-пластика. Прочностные характеристики PLA-пластика [12] показаны в табл. 3.

Таблица 3 – Физико-механические характеристики PLA-пластика

№ п/п	Название характеристики	Значение
1	Температура плавления, °С	173-178
2	Температура размягчения, °С	55
3	Прочность на изгиб, МПа	55,3
4	Прочность на растяжение, МПа	57,8
5	Модуль упругости при изгибе, ГПа	2,3
6	Модуль упругости при растяжении, ГПа	3,3
7	Относительное удлинение при растяжении, %	3,8
8	Точность печати, мм	±0,1

Печать осуществлялась при температуре 202 °С, температура стола при формировании первого слоя составляла 65 °С, при последующих – 55 °С.

Расположение тумблеров на платформе принтера, а также процесс выращивания объектов показано на рис. 1. При одном «запуске» принтера можно было напечатать 10 изделий. Всего потребовалось пять «запусков».

Было напечатано два вида тумблеров. Первый показан на рис. 2 – 3D-модель, сечение по модели и напечатанное изделие. Второй вариант, аналогично, показан на рис. 3.



Рисунок 1 – Процесс печати тумблеров и их расположение на платформе принтера



Рисунок 2 – Первый вариант исполнения изделия



Рисунок 3 – Второй вариант исполнения изделия

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На печать одного тумблера потратилось в среднем 7-10 г пластика. Материальная себестоимость одного тумблера – около 30-60 руб. Стоимость печати 50 образцов, с учетом стоимости работы 3D-принтера, расходных материалов, амортизационных расходов и прочих показателей, составила около 5 тыс. руб. Учитывая среднерыночную стоимость тумблера в 1.3 тыс. руб. и то, что рукоять не поставляется отдельно, разница между закупкой изделия и аддитивным производством его сломавшейся части составила 93 % (13 раз) в пользу 3D-печати.

Стоимость модели принтера, использовавшейся при печати, составляет около 15 тыс. руб., что уже полностью окупает такой заказ и дает чистую прибыль в 45 тыс. руб.

Следовательно, по технико-экономическому анализу изготовление серии тумблеров при помощи 3D-принтера заметно экономичнее по сравнению с закупочными процедурами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом проведенной работы служит факт того, что номенклатура объектов судостроительной промышленности продолжает рост за счет мелкогабаритных изделий, входящих в состав сложных систем и не поставляющихся отдельно. Вопрос номенклатуры остро стоит и перед представителями АО «ОСК», создающими рабочие группы по внедрению аддитивных технологий на свои судостроительные производства.

3D-печать применяется в основном для мелкосерийного и индивидуального производств. Для средне- и крупносерийного изготовления продукции применение аддитивных методов требует своих особенностей относительно технологического цикла.

Технико-экономический анализ производства при аддитивном изготовлении по сравнению с закупкой представленного прибора, позволяет судить о полной окупаемости вложенных средств с учетом приобретения 3D-принтера Creality Ender 3, PLA-пластика, прочих расходных материалов, амортизационных расходов и пр.

Также стоит отметить то, что сертификация как для термопластов, так и для приборов данного типа не нужна и 3D-печать может применяться на производстве тумблеров для судовых выключателей типа «ТМ-5».

Представленная работа продолжила цикл исследований по применимости 3D-печати к изготовлению объектов морской техники различного формата и направлена на помощь предприятиям, внедряющим аддитивные технологии на свои производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нефедова, А. В. Управление серийным производством с использованием аддитивных технологий / А. В. Нефедова, С. Е. Калязина // Глобальный научный потенциал. – 2018. – №12 (93). – С. 220-222.
2. Дектярев, А. В. Анализ применимости элементов объектов морской техники к аддитивному производству и их дальнейшие перспективы развития / А. В. Дектярев, В. Н. Морозов // Материалы VI Международного Балтийского морского форума. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2018. – Т.2. – С. 117-126.
3. Т-5М Выключатель судовой // МСК-СНАБ [Электронный ресурс]. – URL: <https://msksnab.ru/p48580700-vyklyuchatel-sudovoj.html> (дата обращения: 20.11.2019).
4. Нарчук, А. СМК на контрактном производстве: серийные и индивидуальные эндопротезы и имплантаты на базе аддитивных технологий по моделям клиента / А. Нарчук // Методы менеджмента качества. – 2018. – № 8. – С. 8-12.
5. Dröder, K. Partial Additive Manufacturing: Experiments and Prospects with regard to Large Series Production / K. Dröder, J.K. Heyn, R. Gerbers, B. Wonnemberg, F. Dietrich // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 55. – pp. 122-127.
6. Starunov, V. A 3D-printable plastic trough for serial semithin sectioning / V. Starunov // Biological Communications. – 2018. – Vol. 63, Is. 4. – pp. 261-263.

7. Белоусов, А. В. Параллельный FDM-принтер / А. В. Белоусов [и др.] // Математическая физика и компьютерное моделирование. – 2016. – №4 (35). – С. 116-131.
8. Нефедова, Л. А. Организация и ИТ-поддержка серийного производства с применением аддитивных технологий / Л. А. Нефедова, С. Е. Калязина, А. А. Лепехин // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – №3 (93). – С. 53-56.
9. Смирнов, В. В. Внедрение аддитивных технологий изготовления деталей в серийное производство / В. В. Смирнов, Е. Ф. Шайхутдинова // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. – 2013. – №2-2. – С. 90-94.
10. Дектярев, А. В. Исследование физико-механических характеристик элементов судовых корпусных конструкций на примере судовых пластин в условиях аддитивного промышленного производства / А. В. Дектярев, Д. А. Романюта, П. Р. Гришин, В. Н. Морозов // Автоматизация в промышленности. – 2019. – №7. – С. 16-18.
11. Дектярев, А. В. Сравнительный анализ физико-механических характеристик материалов аддитивного производства с традиционными методами литья как возможность применения 3D-печати в ремонтных работах на борту судна в рейсе в условиях Арктической зоны / А. В. Дектярев [и др.] // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2020. – №2 (104). – С. 41-48.
12. Wittbrodt, V.T. The effects of PLA color on material properties of 3-D printed components / V.T. Wittbrodt, J.M. Pearce // Additive Manufacturing. – 2015. – Vol. 8. – pp. 110-116.

#### FEATURES OF APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN SHIPBUILDING AT MASS PRODUCTION BY THE EXAMPLE OF THE MARINE SWITCH TOGGLE

A.V. Dektyarev, PhD Student of the Department of shipbuilding,  
process engineer 2<sup>nd</sup> cat. of the Metalwork Assembly and Welding Bureau  
of the Department of Design and Technological Preparation of Production  
(Direction of the Chief Technologist), “Yantar” Baltic Shipbuilding Plant  
e-mail: a.dektyarev@shipyard-yantar.ru  
Kaliningrad State Technical University

P.R. Grishin, PhD Student of the Department of shipbuilding,  
engineer at Department of Shipbuilding  
e-mail: pchel2000@gmail.com  
Kaliningrad State Technical University

A.V. Pchelintsev, engineer-technologist-rate setter  
of the 1<sup>st</sup> cat. of the assembly and welding shop  
e-mail: alex\_pch\_89@mail.ru  
“Yantar” Baltic Shipbuilding Plant

V.N. Morozov, Ph.D., Associate Professor of the Department of Shipbuilding,  
Academician of the Russian Academy of Natural Sciences  
e-mail: mvn3613@gmail.com  
Kaliningrad State Technical University

This work continues a series of studies on the applicability of marine engineering to additive manufacturing. Earlier, protective caps for the «Bark-M» marine fire automatics system and impellers for the cooling engine of the marine ventilation system were manufactured. However, their manufacture was carried out on a small scale. This article discusses the features of large-scale manufacturing of marine engineering products using the example of the «T5-M» ship switch toggle us-

ing additive technologies. As equipment for additive manufacturing, we use the low-budget “home” model of the Creality Ender 3 3D printer. The paper presents the technical characteristics of the ship’s circuit breaker and the frequency of breakdowns, the possibility of using 3D printing in large-scale production, the rationale for the choice of material for the manufacture of this type of product, and the technological cycle production, the feasibility study of the manufacture of the toggle switch and the assessment of the payback of 3D printing production.

***Key words:** 3D printing, additive technologies, large-scale production, shipbuilding, ship repair, toggle switch, ship switch*