

УДК 62-522.2

DOI: 10.34046/aumsuomt101/23

## АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ШАГОВОГО ПРИВОДА МОБИЛЬНОГО СТАНКА С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ФИЗИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛОВ

*Е.Н. Сюсюка, кандидат технических наук, доцент*

В статье проведен анализ отечественных и зарубежных конструкций и схем линейных электрогидравлических шаговых приводов (ЛЭГШП), выполняющих усиление сигнала и управление перемещениями рабочих органов, приведены основные блок-схемы ЛЭГШП, обоснована возможность применения линейного электрогидравлического шагового привода (ЛЭГШП) для реализации обработки судовых валопроводов.

**Ключевые слова:** проточка валопровода, линейный электрогидравлический шаговый привод (ЛЭГШП), гидроусилитель, кинематическая схема.

## ANALYSIS OF MECHANICAL CONNECTIONS OF AN ELECTROHYDRAULIC STEPPER DRIVE OF A MOBILE MACHINE WITH SOFTWARE CONTROL IN RELATION TO THE PHYSICAL CONDITIONS OF SHAFT SURFACE TREATMENT

*E.N.Syusyuka*

The article analyzes domestic and foreign designs and schemes of linear electrohydraulic stepper drives (LEGSHP) that perform signal amplification and control of the movements of working bodies, the main block diagrams of the LEGSHP are given, the possibility of using a linear electrohydraulic stepper drive (LEGSHP) for the implementation of processing ship shaft lines is substantiated.

**Key words:** shaft groove, linear electrohydraulic stepper drive (LEGSHP), hydraulic booster, kinematic scheme

От судового двигателя к гребному винту крутящий момент передается при помощи валопровода. Вращение валопровода осуществляется с помощью специальных подшипников скольжения, и является вращением с нестационарной осью. Условия вращения, значительные гидродинамические усилия, трение и деформации требуют высокой точности изготовления валов и значительной прочности поверхности. В процессе эксплуатации в валопроводах морских и речных судов возникают усталостные трещины, задиры, раковины и язвенная коррозия под облицовкой. При неглубоких трещинах и износах валавозможно восстановление проточкой. При первичной обработке проточка применима для создания цилиндрической поверхности и для упрочнения поверхностного слоя вала валопровода. Черновые и чистовые операции должны быть разделены по времени. Это необходимо для снятия внутренних механических напряжений металла, возникших при первичной обработке.

Обеспечить высокое качество обработки можно приставным станком с линейным электрогидравлическим шаговым приводом (ЛЭГШП). Рассмотренные ранее в работах [1, 2, 3, 4] особенности обработки валопроводов требуют анализа условий работы приводов подач станков.

Выбор или разработка приводов должна базироваться на их всестороннем анализе. В этой

связи проведен анализ отечественных и зарубежных конструкций и схем гидроусилителей ЛЭГШП, выполняющих усиление сигнала и управление перемещениями рабочих органов. Анализировались схемы, в которых гидроусилитель (ГУ) управляется электродвигателем. Предпочтение отдавалось управлению шаговыми электродвигателями, которые позволяют достаточно просто реализовать цифровое управление [5, 6, 7]. Одним из основных требований, предъявляемых к ГУ, рассматривалось условие компактности и удобства компоновки на поперечном суппорте. По характеристикам для следящего суппорта встраиваемого станка: давление - 10...20 МПа, развиваемое усилие - 10...20 кН, ход штока - 50...100 мм, дискретность 0,01...0,05 мм; максимальная скорость штока составляет 3,6...4,8 м/мин.

Основываясь на положениях работ [8,9], структуры линейных ЭГШП можно подразделить на пять групп (Таблица 1).

К первой относятся наиболее простые одноступенчатые приводы, характеризующиеся отсутствием в замкнутом контуре механических передач, кроме передачи сравнивающего устройства ПР1. В них рабочий орган может быть охвачен обратной связью - в случае крепления винта (или другого элемента обратной связи) непосредственно на рабочем органе. Более компактными являются приводы, у которых элемент обратной

связи расположен в гидроцилиндре. Жесткая обратная связь, незначительные усилия, действующие

в сравнивающем механизме, могут свидетельствовать о высоких показателях долговечности приводов.

Таблица 1 – Основные блок-схемы ЛЭГШП

№ группы	Приводы	ВАРИАНТЫ БЛОК СХЕМ
1	6520ФЗ, ЛФ66, ПАТИ, Superior EL. Co., SIG Rexroth, Mimik, ЭНИМСГ28-32	
2	Olsen Control 6M42 Пр, Fujitsu SIG, ЭНИМСГ28	
3	Locheed, Лит. Ист., ЭНИМС Г69-14	
4	Технол. Ун., OerlikonOerlikon, МВТУ ЗФС, ЭНИМС	
5	ЭНИМС Г69-4	

В приводах 2-ой группы помимо механизмов сравнения в цепи обратной связи имеются механические передачи ПР: реечные, винтовые и пр. В таких приводах получение высоких скоростей возможно путем выбора коэффициента передачи в цепи обратной связи  $KOC \leq 1$ . Предотвращение возможного заклинивания в передачах достигается применением шариковых тел качения, предохранительных устройств, что усложняет конструкцию привода. Кроме того, возможный износ этих передач понижает долговечность привода.

С целью улучшения эксплуатационных характеристик линейного ЭГШП, увеличения надежности преобразования информации в замкнутой контур некоторых усилителей включается накопительно-запоминающее устройство (НЗУ). Такие приводы выделены в 3-ю группу. Применение НЗУ связано с ограничением подачи и нестационарным процессом обработки накопленной информации при работе ЗУ, что ограничивает применение такого привода для контурной обработки.

В четвертой группе механические передачи в цепи обратной связи отсутствуют. Рабочий орган в приводах охвачен обратной связью. В отличие от первой, приводы четвертой группы

имеют в замкнутом контуре две ступени усиления (ГУ1 и ГУ2). Наличие второй ступени не позволяет приводу удовлетворить требованиям компактности.

Группы 1 и 4 характеризуются также наличием винтов обратной связи, выполняющих роль золотников винтового типа. Из сопоставления структур этих групп выяснено, что в группе I нет приводов с невращающимся винтом, что давало бы преимущества, указанные выше. Схема привода, воплощенная в авторском свидетельстве [9], позволила реализовать эти преимущества в наиболее полной мере. Однако она требует изготовления оригинального шагового двигателя и его испытаний.

Группа 5 характеризуется наличием обратной связи, охватывающей весь шаговый привод, что превращает его из разомкнутого в замкнутый привод. Конструкция таких ЛЭГШП позволяет повысить точность и жесткость за счет введения обратной связи по перемещению конечного звена; обеспечить длительное сохранение точности; улучшить компоновочные возможности привода, поскольку управляющие устройства не связаны механически с гидродвигателем и могут быть расположены в удобном месте.

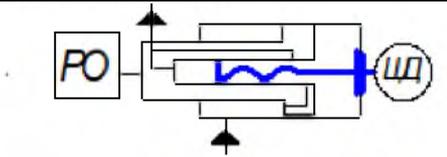
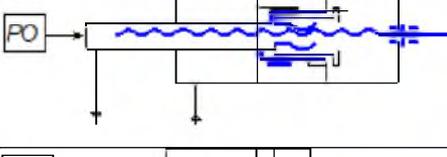
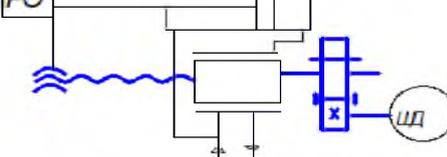
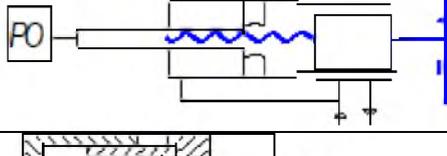
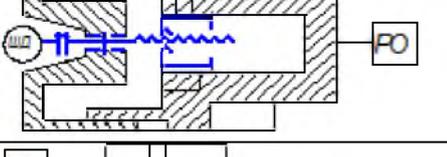
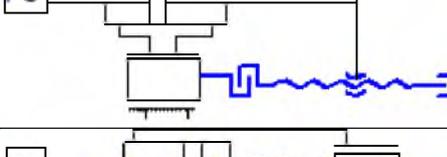
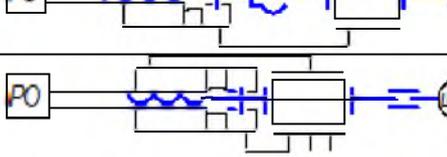
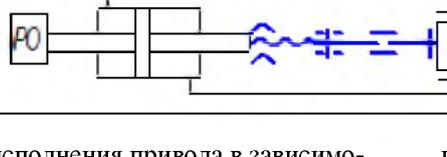
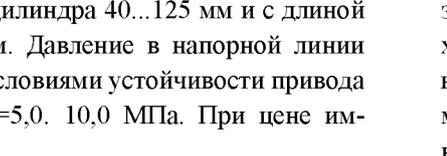
Известные конструкции ЛЭГШП можно подразделить на три типа:

- с одной ступенью усиления и винтовым сравнивающим устройством,
- с двумя ступенями усиления и винтовым сравнивающим устройством,

- приводы с невинтовыми сравнивающими устройствами.

*Приводы с одной ступенью усиления и винтовым устройством* получили наиболее широкое распространение. Их кинематика представлена в таблице 2

Таблица 2 – Кинематика приводов с одной ступенью усиления и винтовым устройством

Привод	Кинематическая схема	Особенности
Rexzoth ФРГ		дифференциальное включение цилиндра; отсутствие механических обратных связей
ОКБ (Ленинград)		
ИНИ Япония		
ИНИ Япония		
Г28-32		винтовое задающее устройство; отсутствие механических обратных связей передач
SuperiorEl. Co		шариковинтовая передача; исключен рычажный механизм
SIG		Расположение винтов обратной связи в гидроцилиндре
SIG		
OlsenControlInc		

Известны исполнения привода в зависимости от диаметра цилиндра 40...125 мм и с длиной хода 125...500 мм. Давление в напорной линии ограничивается условиями устойчивости привода и составляет  $p_n = 5,0, 10,0$  МПа. При цене им-

пульса 0,01 мм обеспечивается стабильность позиционирования  $\pm 0,002$  мм. Скорость быстрого хода составляет 6,1 м/мин. Для поворота управляющего винта золотника требуется крутящий момент около 17...25 Н/см независимо от давления нагрузки силового цилиндра.

В ЛЭГШП на базе электрогидравлического линейного модуля Г28-32 [7] реализовано винтовое задающее устройство при отсутствии в цепи обратной связи механических передач. При перемещениях 50 мм привод отличается компактностью, позволяющей рекомендовать его к использованию в следящем цифровом приводе с микропроцессорным управлением для оснащения им встраиваемых станков.

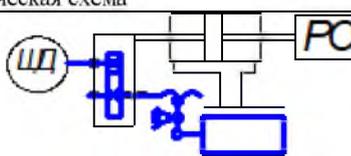
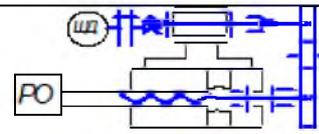
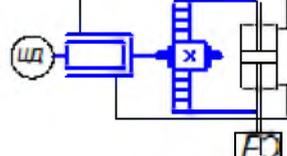
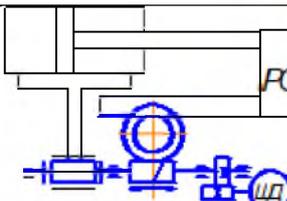
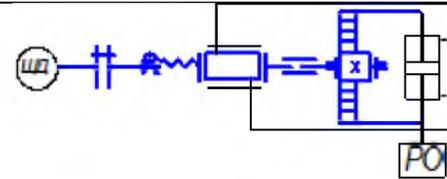
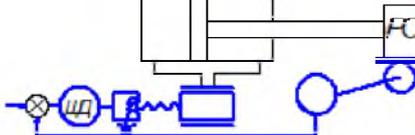
В ЛЭГШП фрезерного станка фирмы SuperiorEI. Co. (США) применена шариковинтовая передача, что позволило исключить рычажный механизм. Фирмы OlsenControlInc. (США), SIG (Швейцария) и др. добиваются значительного улучшения характеристик ЛЭГШП расположением винтов обратной связи в гидроцилиндре. При дискретности 0,01 мм такие приводы обеспечивают подачи ускоренных ходов до 10 м/мин.

Увеличением дискретности достигается подача до 90 м/мин.

В приводе фирмы Mimik (Канада) поршень непосредственно отслеживает перемещения стержня, воздействующего на золотник, расположенный в поршне. Задатчик имеет сложную конструкцию.

*Приводы с невинтовыми сравнивающими устройствами* многообразны по конструкции и кинематике (Таблица 3). Их задатчик может быть винтовым, а сравнивающие устройства - состоять из рычажных, реечных, фрикционных и другого типа передач. Так, на станках 6М42-ПР, ГФ583ПР использованы реечные пары. Широкодиапазонные ЛГШП на базе модулей Г28-32, узлов управления Г69-4 предполагают использование реечного механизма или специального устройства обратной связи.

Таблица 3 – Кинематика невинтовых сравнивающих устройств ГУ ЛЭГШП

Привод	Кинематическая схема	Особенности
ЛФ 260ФЗ		Использование
Г28-32		использование реечного механизма или специального устройства обратной связи
ГФ583ПР		использование реечных пар
Г69-4		использование реечного механизма или специального устройства обратной связи
стенд		использование реечных пар
цифровой		

В ЛЭГШП станков с ЧПУ мод.6520Ф3, ЛФ260Ф3 используются рычажный механизм. В приводе подач станка мод. 6520Ф3 винт приводится во вращение посредством безлюфтового редуктора. В станке модели ЛФ 260Ф3 используется сложный механизм выбора зазора в шпуре ГУ. Приводы с двумя ступенями усиления и винтовым сравнивающим устройством позволяют значительно снизить нагрузки на шаговый двигатель (ШД) уменьшением момента инерции.

В приводах применяется комбинированное управление подачами, когда цена импульса на ускоренном ходу может быть увеличена с отключением ШД от управления без потери информации, а винт не имеет механической связи с задающим устройством. Известные конструкции громоздки и не получили широкого применения в станках.

Кинематическая цепь ЛЭГШП предназначена для передачи управляющего сигнала на ГУ, формирования сигнала ошибки  $x$  и обеспечения требуемой дискретности  $h_H$ . Дискретность определяется коэффициентом передачи  $k_H$  привода [11]:

$$h_H = k_{II} \alpha_{ш}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{ш}$  - угловой шаг ШД. Так как привод имеет замкнутый контур с коэффициентом передач  $k_3$ , то

$$k_{II} = k_H k_3 \quad (2)$$

Для замкнутого контура

$$k_3 = \frac{k_s}{1 + k_{oc} k_s}, \quad (3)$$

где  $k_s$  - коэффициент усиления звена; эквивалентного прямой цепи замкнутого контура,  $k_{oc}$  - коэффициент передачи цепи обратной связи. Так как  $k_s \gg 1$ , дискретность привода, обуславливаемая его кинематикой, может быть определена выражением

$$h_H = \alpha_{ш} \frac{k_H}{k_{oc}} \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что уменьшением  $k_{oc} < 1$  можно получить при неизменных  $\alpha_{ш}$  и  $k_H$  большие значения  $h_H$ , а значит и повысить подачи.

Так как дискретность  $h_H$  увеличивается, точность обработки при этом ухудшится.

В ЛЭГШП реализованы значения дискретности, равные 0,0025; 0,005; 0,01; 0,025 мм и более, что вполне приемлемо для контурной обработки валопровода.

Сигнал ошибки, равный разности сигналов управления и обратной связи, формируется в

сравнивающим механизме. Конструкция механизма и характер формирования сигнала ошибки зависит от формы тел, образующих золотниковые пары и вида движения золотника относительно гильзы. В одноступенчатых приводах с золотником осевого типа механизмом сравнения является в основном винтовая пара. Несмотря на небольшие усилия в передаче, она подвержена износу, имеет зазоры, увеличивающие зону нечувствительности гидроусилителя, и требует устройств выбора зазора. Выполнение винтовой пары с телами качения устраняет эти недостатки, но увеличивает стоимость привода. Другая наиболее распространенная разновидность механизма сравнения, в которой используется золотник винтового типа силовой ступени ГУ или первой ступени ГУ с двумя ступенями практически лишена недостатков, присущих винтовой паре, и позволяет получить высокую точность перемещения рабочего органа.

Золотниковые пары определяют и характер построения механизмов обратной связи. Применение золотников роторного и осевого типов обуславливает наличие в приводе передаточно-преобразующих механизмов винтового, рычажного, реечного, клинового и соединений типа шлицевого. Приводы с золотником винтового типа выгодно отличаются отсутствием в обратной связи механических передач и простотой конструкции и наиболее полно отвечают принципам создания износостойких конструкций [9]. Обратная связь в приводах с золотником винтового типа может осуществляться жестким креплением одного из элементов золотника непосредственно в цилиндре или на рабочем органе. Этому соответствует две компоновки привода. В одной из них шток цилиндра, кронштейн и рабочий орган исключаются из замкнутого контура. Податливость этих элементов, а также трение в направляющих не будут оказывать на устойчивость такого влияния, как в приводах с охватом рабочего органа обратной связью. Для обеспечения во всех моделях ЛЭГШП устойчивости требуется высокая жесткость кронштейнов крепления штока, цилиндра и оснований для крепления корпуса цилиндра. Повышение точности и производительности обработки возможно с применением ЛЭГШП [12]. Условия устойчивости гидроусилителя рассмотрены с применением линеаризованной модели применительно к эквивалентной схеме гидроусилителя с механической жесткой отрицательной связью по угловому положению ротора [13].

**Выводы:** Анализ физических и информационных связей в ЛЭГШП подтвердил возможность применения их в гидроусилителях с дистанционной передачей силового потока без механических обратных связей по положению. Исследованиями доказана работоспособность гидроусилителя, определены границы устойчивости и даны рекомендации по выбору параметров конструкции и условий эксплуатации для достижения необходимой точности обработки валопроводов.

#### Литература

1. Сюсюка, Е. Н. Обработка гребных валов крупнотоннажных морских судов мобильными станками / Е. Н. Сюсюка, К. Б. Пальчик, С. А. Худяков // Эксплуатация морского транспорта. – 2018. – № 4(89). – С. 76-79.
2. Худяков, С. А. Анализ дефектов валопроводов морских судов и методы их устранения / С. А. Худяков, К. Б. Пальчик, Е. Н. Сюсюка // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 2(91). – С. 89-92. – DOI 10.34046/aumsuomt91/15.
3. Сюсюка Е.Н. Анализ возможности повышения точности обработки валопроводов морских судов мобильными станками с использованием электрогидравлического шагового привода. //Эксплуатация морского транспорта.– 2019.– № 3 (92).– С.180-185.
4. Санин С.Н. Новые технологии восстановительной обработки поверхностей катания крупногабаритных деталей без их демонтажа: монография / С.Н. Санин.– Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 86с.
5. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / под общей ред. М.Г. Чиликина.– М.: Энергия, 1971.– 624 с.
6. Свешников В.К. Станочные гидроприводы: Справочник. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2008. – 640 с.
7. Бондаренко В.Н. Исследование линейного электрогидравлического шагового привода подачи фрезерного станка с контурным ЧПУ, Специальность 05.03.01: дисс. на соискание ученой степени к. т. н.– М., 1978.– 187 с.
8. Бондаренко, В. Н. Анализ гидроусилителей линейных электрогидравлических приводов для поперечных суппортов встраиваемых станков / В. Н. Бондаренко, Е. Н. Сюсюка, И. А. Барчук // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2008. – № 1. – С. 64-67.
9. АС №601468 СССР МКИ F15 В9/03 Шаговый привод/ В.Н.Бондаренко, Рыбинский авиационный технологический институт. – 2378916/25-24.- Заявл. 05.07.76; опублик.05.04.78 Бюл. №13// Открытия. Изобретения.– 1978. – №13.–С.41
10. Ратмиров В. А., Рапкович П.М., Павлов Ю.А., Дискретный привод подач станков, М., НИИ-МАШ, 1975, 115 с
11. Смоленцев В.П. Прогнозирование достижимых показателей качества технологическими методами, Нетрадиционные методы обработки: Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 9, часть 3.– М.: Машиностроение, 2010.– 140 с.– С. 12-17
12. Патент на полезную модель № 91746 U1 Российская Федерация, МПК F15B 21/08. Автоматический шаговый линейный электрогидравлический привод: № 2009139498/22: заявл. 26.10.2009; опублик. 27.02.2010 / В.Н. Бондаренко, В.Г. Рубанов, В.В. Михайлов, Е.Н. Сюсюка; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова" (БГТУ им. В.Г. Шухова).
13. Сюсюка, Е. Н. Повышение точности обработки поверхностей катания опорных узлов цементных печей на базе шагового привода / Е. Н. Сюсюка // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2010. – № 3(106). – С. 96-101.

#### Reference

1. Syusyuka, E. N. Obrabotka grebnyh valov krupnotonnazhnyh morskikh sudov mobil'nymi stankami / E. N. Syusyuka, K. B. Pal'chik, S. A. Hudyakov // Ekspluatsiya morskogo transporta. – 2018. – № 4(89). – S. 76-79.
2. Hudyakov, S. A. Analiz defektov valoprovodov morskikh sudov i metody ih ustraneniya / S. A. Hudyakov, K. B. Pal'chik, E. N. Syusyuka // Ekspluatsiya morskogo transporta. – 2019. – № 2(91). – S. 89-92. – DOI 10.34046/aumsuomt91/15.
3. E.N Syusyuka. Analiz vozmozhnosti povysheniya tochnosti obrabotki valoprovodov morskikh sudov mobil'nymi stankami s ispol'zovaniem elektrogidravlicheskogo shagovogo privoda. - Ekspluatsiya Morskogo transporta, 2019. № 3 (92), S.180-185.
4. Sanin S.N. Novye tekhnologii vosstanovitel'noj obrabotki poverhnostey kataniya krupnogabaritnyh detalej bez ih demontazha: monografiya - Sanin S.N. Belgorod: Izd-vo BGTU im. V.G. SHuhova, 2009. - 86s.
5. Diskretnyj elektroprivod s shagovymi dvigatelyami. Pod obshchej red.M.G. CHilikina, M., Energiya, 1971, 624 s.
6. Sveshnikov V.K. Stanochnye gidroprivody: Spravochnik. – 5-e izd. pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie.2008 – 640 s.
7. Bondarenko V.N. Issledovanie linejnogo elektrogidravlicheskogo shagovogo privoda podachi

- frezernogo stanka s kontumym CHPU, Special'nost' 05.03.01. Diss. na soiskanie uchenoj stepeni k. t. n. M.: 1978,- 187s.
8. Bondarenko, V. N. Analiz gidrosilitelej linejnyh elektrogidravlicheskih privodov dlya poperechnyh supportov vstraivaemyh stankov / V. N. Bondarenko, E. N. Syusyuka, I. A. Barchuk // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. SHuhova. – 2008. – № 1. – S. 64-67.
  9. AS №601468 SSSR MKI F15 B9/03 SHagovyj privod/ V.N.Bondarenko, Rybinskij aviacionnyj tekhnologicheskij institut. – 2378916/25-24.-Zayavl. 05.07.76; opubl.05.04.78 Byul.№13// Otkrytiya. Izobreteniya.-1978. - №13.S.41
  10. Ratmirov V A., Rashkovich P.M., Pavlov YU.A, Diskretnyj privod podach stankov, M., NIIMASH, 1975, 115 s
  11. Smolencev V.P. Prognozirovanie dostizhimyh pokazatelej kachestva tekhnologicheskimi metodami, Netradicionnye metody obrabotki: Mezhdvuzovskij sbornik nauchnyh trudov. Vypusk 9, chast' 3. M.: Mashinostroenie, 2010. 140 s., s. 12-17
  12. Patent na poleznuyu model' № 91746 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK F15B 21/08. Avtomaticheskij shagovyj linejnyj elektrogidravlicheskij privod : № 2009139498/22 : zayavl. 26.10.2009 :opubl. 27.02.2010 / V. N. Bondarenko, V. G. Rubanov, V. V. Mihajlov, E. N. Syusyuka ; zayavitel' Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet im. V.G. SHuhova" (BGTU im. V.G. SHuhova).
  13. Syusyuka, E. N. Povysenie tochnosti obrabotki poverhnostej kataniya opomyh uzlov cementnyh pechej na baze shagovogo privoda / E. N. Syusyuka // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. – 2010. – № 3(106). – S. 96-101.

УДК 678

DOI: 10.34046/aumsuomt101/24

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СЭУ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ 3-D ТЕХНОЛОГИЙ В МОРСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

*Н.А.Халилов, старший преподаватель*

*Д.В. Огурцов, кандидат технических наук, доцент*

*О.П. Коперчак, кандидат экономических наук, доцент*

3-D технологии (включающие цифровое сканирование, 3-D моделирование и различные цифровые технологии послойного синтеза объектов) являются одними из наиболее быстро развивающихся направлений цифровизации технологических процессов в различных областях и в том числе, экономически и технически перспективны для оптимизации цикла эксплуатации. Цифровые технологии на основе компьютерных моделей имеют приоритетное значение при исследовании актуальных вопросов эксплуатации составных частей судовой энергетической установки и СЭУ в целом. Данные технологии позволяют значительно снизить материальные затраты как при производстве элементов СЭУ за счет меньшего количества используемых материалов и технологических процессов при изготовлении, так и при их эксплуатации за счет использования инноваций, в том числе с целью унификации судового оборудования. Существует тенденция - в мире и в России не хватает квалифицированных специалистов в этой области что, в свою очередь, тормозит развитие данных технологий. В представленной работе рассмотрены основные преимущества от внедрения обучения по 3-D технологиям в образовательный процесс морских вузов.

**Ключевые слова:** 3-D технологии, 3-D моделирование, инновационные технологии, цифровизация, трехмерные модели, аппаратно-программное обеспечение.

## DIGITALIZATION IN RESEARCH AND OPERATION OF SPP BY IMPLEMENTING 3-D TECHNOLOGIES IN MARITIME EDUCATION

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

3-D technologies (including digital scanning, 3-D modeling and various digital technologies for layer-by-layer synthesis of objects) are one of the fastest growing areas of digitalization of technological processes in various fields, including economically and technically promising for optimizing the operation cycle. Digital technologies based on computer models are of priority importance in the study of topical issues of operation of the components of the ship's power plant and the power plant as a whole. These technologies make it possible to significantly reduce material costs both in the production of SPP elements due to the smaller amount of materials and technological processes used during manufacture, and during their operation due to the use of innovations, including for the purpose of unification of ship equipment. There is a tendency - in the world and in Russia there is a lack of qualified specialists in this field, which, in turn, hinders the development of these technologies. In the presented work, the main advantages of introducing training in 3-D technologies into the educational process of maritime universities are considered.

**Key words:** 3-D technologies, 3-D modeling, innovative technologies, digitalization, three-dimensional models, hardware and software.