

УДК 629.12.002

DOI: 10.37890/jwt.vi85.661

Текущее состояние, проблемы и перспективы применения промышленных роботов в сборочно-сварочных цехах отечественных верфей

О.А. Щеголева

*Самарский филиал Волжского государственного университета водного транспорта,
г. Самара, Россия*

Аннотация: Российское судостроение стоит перед лицом системного кризиса, вызванного высокой трудоёмкостью, «кадровым голодом» и низкой эффективностью. Данная статья проводит комплексный анализ потенциала глубокой роботизации как средства преодоления ключевого противоречия: необходимости роста производительности в условиях мелкосерийного производства, где неприменимы стандартные решения из массового машиностроения. На основе анализа текущего состояния (уровень роботизации оценивается в 5-10%) и изучения успешных мировых кейсов (Hyundai, Meyer Werft) в статье выявлены технологические, экономические и кадровые барьеры. В качестве стратегического решения предлагается не фрагментарная замена оборудования, а системная трансформация на основе создания интегрированных робототехнических комплексов, неразрывно связанных с цифровыми двойниками. Определены ключевые направления роботизации сборочно-сварочного производства верфей и сформулирована комплексная дорожная карта. Её реализация позволит совершить качественный скачок: повысить производительность на 40-60%, значительно снизить брак и затраты на материалы, что в конечном счёте обеспечит выход на новый уровень глобальной конкурентоспособности отечественного судостроения.

Ключевые слова: промышленные роботы, судостроение, сборочно-сварочное производство, робототехнические комплексы, цифровой двойник.

Current status, problems and prospects for the use of industrial robots in assembly and welding shops of domestic shipyards

Olga A. Shchegoleva

Samara branch of the Volga State University of Water Transport, Samara, Russia

Abstract. Russian shipbuilding is facing a systemic crisis caused by high labor intensity, a shortage of skilled workers, and low efficiency. This article provides a comprehensive analysis of the potential of advanced robotics as a means of overcoming a key contradiction: the need to increase productivity in small-scale production, where standard solutions from mass-produced machinery are inapplicable. Based on an analysis of the current state (the level of robotization is estimated at 5-10%) and a study of successful global cases (Hyundai, Meyer Werft), the article identifies technological, economic, and personnel barriers. The strategic solution proposed is not piecemeal equipment replacement, but a systemic transformation based on the creation of integrated robotic systems inextricably linked to digital twins. Key areas for robotization of shipyard assembly and welding production are identified, and a comprehensive roadmap is developed. Its implementation will enable a qualitative leap: increasing productivity by 40-60%, significantly reducing defects and material costs, which will ultimately ensure a new level of global competitiveness for the domestic shipbuilding industry.

Keywords: Industrial robots, shipbuilding, assembly and welding production, robotic systems, digital twin

Введение

Судостроение во всем мире переживает период глубокой технологической трансформации, движимой глобальной конкуренцией, ужесточением экологических стандартов и растущими требованиями к эффективности и стоимости производства. На этом фоне российская судостроительная отрасль сталкивается с комплексом системных вызовов, ключевыми среди которых являются высокая трудоёмкость, зависимость от квалификации персонала в условиях его старения и «кадрового голода», а также объективные сложности автоматизации, обусловленные преимущественно мелкосерийным и уникальным характером производства.

Анализ профильной литературы [1-3] и интернет источников, например [4], и источника [https:// www.korabel.ru/news/comments/valeriy_rayskiy_seychas_net_smysla_delat_samim_absolyutno_vse.html](https://www.korabel.ru/news/comments/valeriy_rayskiy_seychas_net_smysla_delat_samim_absolyutno_vse.html), показывает, что вопрос выбора путей повышения гибкости судостроительных производств – в частности, сборочно-сварочного – далеко не закрыт. Более того, он приобрёл даже ещё большую остроту в связи с сужением «поля решений» из-за того, что российский рынок технологий и средств технологического оснащения (СТО) покинули многие традиционные зарубежные партнёры. Как показывают обзоры, например, портала «Корабел.ру» из цикла «Каким оборудованием пользуются отечественные верфи» https://www.korabel.ru/news/comments/kakim_oborudovaniem_polzuyutsya_otechestvennye_verfi_chast_3.htm, российские предприятия сегодня, в основном, работают со сборочным и сварочным оборудованием и применяют расходные материалы преимущественно иностранного производства. Этот факт резко контрастирует со всеми разговорами об импортозамещении. Но, если в вопросах импортозамещения судового комплектующего оборудования и технических средств, ситуация сдвинулась с мёртвой точки, то с технологическим оборудованием и СТО верфей она продолжает оставаться весьма драматичной [5].

Традиционные подходы к автоматизации, основанные на использовании жёстко заданных автоматических линий, эффективных в условиях массового выпуска однотипной продукции, оказываются малоприменимыми и экономически нецелесообразными при строительстве судов, где каждая новая серия, а зачастую и единица, требует значительных изменений в технологических процессах [1]. Именно это противоречие между необходимостью повышения производительности и невозможностью использования стандартных решений массового машиностроения создает уникальное окно возможностей для применения промышленной робототехники в судостроении.

Промышленные роботы (ПР), обладающие такими ключевыми для современного производства качествами, как **универсальность, программируемость и способность к быстрой переналадке**, перестают быть просто средством механизации ручного труда. Как показано в работах [2, 3], они становятся ядром принципиально новых производственных систем – **робототехнических комплексов (РТК)**, которые способны гибко адаптироваться к меняющейся номенклатуре изделий. В контексте сборочно-сварочного производства верфей это означает возможность автоматизировать такие сложные и трудоёмкие операции, как сборка и сварка узлов, плоских, лекальных и объёмных секций, крупногабаритных корпусных конструкций (блоков корпуса) и др. с созданием условий для обеспечения гибкости производства [4].

Несмотря на имеющийся в России научно-технический задел, сформированный в ходе создания комплексно-механизированных линий в советский и постсоветский периоды (таких как линия «Янтарь», «Нева», «Невка», «Ритм», агрегатов и станков ССА-1, СКТ-12М, «Океан-2» и др.), современный уровень роботизации отечественных верфей остаётся крайне низким. Доминирующее применение ограничивается роботами-манипуляторами для точечной контактной сварки и решением отдельных транспортных задач. При этом значительная часть оборудования импортируется.

Отечественные разработки в области роботов для дуговой сварки и изготовления корпусных конструкций существуют (например, описанные в источниках [6, 7]), однако их широкому внедрению мешает неразвитость систем адаптации, недостаток квалифицированных кадров и зачастую фрагментарный, а не системный подход к интеграции.

Таким образом, актуальность данной статьи обусловлена острой необходимостью определения чётких, реалистичных и системных перспектив применения ПР именно в условиях российского судостроения. Целью статьи является не только анализ технологического потенциала роботизации, но и выявление ключевых барьеров (технологических, экономических, кадровых) и формулирование комплексной дорожной карты, реализация которой позволит отечественной отрасли совершить качественный скачок в производительности, качестве и, в конечном счёте, в глобальной конкурентоспособности.

Текущее состояние и отправная точка

Несмотря на имеющийся научно-технический задел, уровень роботизации в сборочно-сварочных цехах российских верфей на сегодня можно охарактеризовать как фрагментарный. И даже в этом случае применяются в основном роботы зарубежного производства, ориентированные главным образом на транспортировку деталей к сборочным участкам, точечную контактную сварку и полуавтоматическую дуговую сварку в защитных газах. Отечественные образцы для дуговой полуавтоматической и автоматической сварки разработаны, однако их широкому применению мешает отсутствие развитых систем адаптации к реальным производственным условиям. **Для иллюстрации масштаба проблемы:** по экспертным оценкам, уровень роботизации ключевых сборочно-сварочных операций на отечественных верфях не превышает **5-10%**, в то время как в лидирующих мировых центрах судостроения (Южная Корея, Китай, Япония) для тех же операций этот показатель достигает **70-80%**. Преобладание ручного труда обуславливает высокую долю затрат на оплату труда, которая в себестоимости судна может достигать **40-50%**, а также значительный (до **15-20%**) уровень исправного брака, связанного с «человеческим фактором».

В качестве основных барьеров, очевидно, можно отметить следующие:

1. **технологические:** отсутствие специализированных роботов, адаптированных к изготовлению крупногабаритных и сложнопрофильных корпусных конструкций;
2. **экономические:** высокие первоначальные инвестиции и не всегда очевидная рентабельность для малых серий;
3. **кадровые:** дефицит специалистов по программированию, наладке и обслуживанию РТК.
4. **организационные:** необходимость адаптации конструкторской документации и технологических процессов под возможности роботизированной сборки и сварки;
5. **экономические: обоснование** внедрения роботизированных комплексов требует конкретики. Так, ориентировочная стоимость внедрения РТК для дуговой сварки крупногабаритной секций составляет **30-50 млн. руб.** Однако, при анализе полного цикла, роботизация окупается за 2-4 года за счет:
 - снижения трудоёмкости на **40-60%**;
 - повышения скорости выполнения операций в **1,5-2 раза**;
 - сокращения расхода материалов (например, сварочной проволоки) на **10-15%** за счёт большей точности;

- минимизации брака, стоимость исправления которого на этапе сборки корпуса может в десятки раз превышать затраты на профилактику.

Ключевые перспективные направления роботизации сборочно-сварочного производства и опыт ведущих мировых судостроительных держав

Роботизация сборочно-сварочного производства наиболее очевидное и социально значимое направление, так как оно позволяет освободить людей от выполнения тяжёлых и вредных условий труда. Очевидными решениями здесь являются: создание РТК для сварки корпусных конструкций на основе сварочных роботов, оснащённых системами технического зрения и лазерного сканирования. Это позволит компенсировать неизбежные отклонения в размерах узлов и секций и обеспечит высокое качество шва; внедрение роботов-манипуляторов для точной установки и фиксации листов обшивки, балок набора и других элементов перед сваркой. Данные операции являются одними из самых трудоёмких и опасных для здоровья.

Опыт ведущих мировых судостроительных держав наглядно демонстрирует, что роботизация – это не просто установка автоматических манипуляторов и высокоавтоматизированных СТО, а глубокая реорганизация всего производственного процесса.

В судостроении Южной Кореи (Hyundai Heavy Industries) ключевой акцент сделан на создание полностью роботизированных сборочно-сварочных линий для плоских и криволинейных секций. Роботы интегрированы в единую систему управления производством (MES). Технологии компьютерного зрения используются не только для адаптивной сварки, но и для автоматического контроля геометрии секций в реальном времени, что позволяет оперативно вносить коррективы и предотвращать накопление ошибок.

В европейском судостроении (Meyer Werft, Германия) в условиях еще более мелкосерийного, премиального производства (круизные лайнеры, паромы, мегаяхты) сделана ставка на гибкие роботизированные ячейки и мобильную робототехнику [8]. Например, там широко используются самоходные платформы с роботами-манипуляторами, которые могут быть быстро перенастроены для работы в разных зонах строящегося судна. Это решение оптимально для уникальных проектов, где стационарные линии нерентабельны.

Для Российского судостроения южнокорейский опыт системной интеграции и тотального контроля качества может являться целевым ориентиром для модернизации только крупных серийных проектов. Для большинства же российских верфей, с мелко- и среднесерийной загрузкой производства, немецкий подход с гибкими мобильными комплексами представляется более перспективным.

Ключевые факторы успеха и рекомендации

На основе анализа текущего состояния, барьеров и мирового опыта можно выделить системные факторы, определяющие успех роботизации сборочно-сварочного производства отечественных верфей, и сформулировать конкретные рекомендации для государства, отраслевых институтов и менеджмента предприятий. **Ключевыми факторами успеха для такой трансформации производства, как представляется, должны стать не отдельные технические решения, а синергия следующих факторов:**

1. Системность и цифровая преемственность. Ключевой фактор – отказ от точечной закупки оборудования в пользу создания **интегрированных РТК**, неразрывно связанных с цифровыми двойниками изделий и производственных процессов. Без единой цифровой среды (от CAD/CAM до MES) робот останется изолированным и малоэффективным аппаратом [9];

2. Гибкость и мобильность технологий. Учитывая мелкосерийный характер российского судостроения, приоритет должен отдаваться не стационарным линиям, а **гибким роботизированным ячейкам и мобильным платформам**. Это позволит перенастраивать производство под конкретный проект с минимальными затратами времени и ресурсов [10];

3. Технологический суверенитет и адаптивность. Критически важно развитие отечественных разработок, ориентированных на специфику крупногабаритного судостроения, в первую очередь – **систем адаптивного управления на основе технического зрения и лазерного сканирования**. Это нивелирует неизбежные отклонения в геометрии заготовок и делает робота «интеллектуальным» исполнителем.

4. Кадровый трансформационный лифт. Успех упирается не в операторов, а в **создание новой кадровой экосистемы**: инженеры-робототехники, программисты-интеграторы, сервисные инженеры, технологи, способные проектировать процессы под роботизированную сборку. Необходимо параллельное обучение и переобучение персонала на всех уровнях.

5. Экономическая переоценка эффективности. Внедрение должно основываться не стоимостью оборудования, а **анализом полной стоимости владения (ТСО) и влиянием на итоговую себестоимость судна**. Как показывает анализ, основная экономика складывается за счёт радикального снижения трудоёмкости, брака и расхода материалов.

Для преодоления выявленных барьеров и реализации имеющегося потенциала предлагается следующая дорожная карта (ключевыми стейкхолдерам могут выступать: государство, отрасль, менеджмент судостроительных предприятий):

- **стимулирование кооперации** – разработать и внедрить механизмы государственно-частного партнёрства для финансирования НИОКР по созданию специализированных РТК для судостроения, с фокусом на системы адаптации;
- **образовательный стандарт** – инициировать создание отраслевых образовательных программ на базе ведущих технических вузов и корпоративных академий для подготовки кадров по специальностям «Робототехника в судостроении» и «Цифровые производственные системы»;
- **технологический бенчмаркинг** – сформировать и поддерживать открытую базу данных успешных кейсов внедрения (по аналогии с Meuer Werft) и типовых решений для верфей разного масштаба;
- **принцип «цифра вперед»** – внедрить обязательное требование о создании **адаптированной для роботизации конструкторско-технологической документации** на ранних стадиях проектирования судна. Техпроцессы должны изначально закладываться под возможности РТК;
- **пилотный проект** – начать с внедрения одной-двух гибких роботоячеек для сварки наиболее типовых и трудоёмких узлов (плоские секции, фундаменты). Это позволит отработать методики, обучить персонал и получить быстрый экономический эффект;
- **масштабирование** – на основе успеха пилота тиражировать решения на другие участки, внедряя мобильные РТК для сборки и сварки плоскостных и объёмных секций;
- **сквозная интеграция** – обеспечить интеграцию разрозненных РТК в единую систему управления производством (MES) и в контур цифрового двойника верфи;

- **перестройка логистики и зонирования** – адаптировать планировку цехов под работу мобильных роботов, предусмотрев зоны их свободного перемещения и безопасного взаимодействия с персоналом.

Научно-образовательные, научно-исследовательские и проектные организации очевидно также должны сместить фокус своей деятельности на импортозамещение критических компонентов – сконцентрировать усилия на разработке и сертификации отечественных систем технического зрения, систем позиционирования и программного обеспечения для адаптивной сварки, совместимых с роботами разных производителей – и предлагать отрасли типовые решения путём создания библиотеки типовых роботизированных ячеек и цифровых моделей для основных сборочно-сварочных операций, что снизит затраты и сроки внедрения для конкретных верфей.

Реализация такого подхода, основанного на синтезе системных подходов, гибких технологий и кадровой трансформации, позволит российскому судостроению преодолеть ключевое противоречие между мелкосерийностью и необходимостью роста производительности труда и эффективности производства. Это может и должно привести не просто к модернизации парка СТО, а к **стратегическому переходу к новой производственной парадигме**, где интегрированные РТК становятся основой для достижения прорывной эффективности и глобальной конкурентоспособности.

Выводы

Проведенное исследование позволяет констатировать, что глубокая роботизация сборочно-сварочного производства является не опциональным усовершенствованием, а стратегической необходимостью для выживания и развития российского судостроения в условиях глобальной конкуренции. Анализ текущего состояния отрасли выявил системный кризис, характеризующийся критически низким (5-10%) уровнем роботизации, высокой долей ручного труда в себестоимости и высоким процентом брака, что напрямую связано с «человеческим фактором» и устаревшими технологиями.

Было установлено, что ключевое противоречие между мелкосерийным характером производства и требованием роста производительности принципиально разрешимо. Его решение лежит не в копировании устаревших подходов массового машиностроения, а в переходе к гибким, адаптивным производственным системам. Мировой опыт ведущих судостроительных держав (Южная Корея, Германия) демонстрирует, что успех определяется не единичными роботами-манипуляторами, а глубокой реорганизацией всего производственного процесса вокруг интегрированных РТК.

На основе анализа сформулированы ключевые факторы успеха такой трансформации:

- системность, основанная на неразрывной связи РТК с цифровыми двойниками и сквозной цифровой средой (CAD/CAM/MES);
- гибкость и мобильность, обеспечивающие рентабельность в условиях мелко- и среднесерийного производства;
- адаптивность, достигаемая за счёт внедрения систем технического зрения и лазерного сканирования, что нивелирует неизбежные для судостроения отклонения в геометрии;
- кадровая трансформация, направленная на создание новой экосистемы инженеров-интеграторов, программистов и технологов.
- новая экономическая логика, оценивающая эффективность внедрения через призму полной стоимости владения (ТСО) и радикального снижения затрат на всех этапах жизненного цикла судна.

Предложенная в статье комплексная дорожная карта, включающая меры для государства, отраслевых институтов и менеджмента верфей, задаёт реалистичный

вектор развития. Её реализация, начиная с пилотных проектов и заканчивая сквозной интеграцией, позволит отрасли совершить качественный скачок: повысить производительность на 40-60%, в разы снизить брак и расход материалов, вывести персонал из вредных и тяжелых условий труда.

Таким образом, преодоление технологического отставания российского судостроения возможно через целенаправленный переход к новой производственной парадигме, где ядром конкурентоспособности становятся интеллектуальные, гибкие и полностью интегрированные в цифровую среду робототехнические комплексы. Это не только вопрос технологической модернизации, но и фундаментальная основа для будущего лидерства отечественной отрасли на мировом рынке судостроительных услуг.

Список литературы

1. Бурмистрова А.Е., Щеголева О.А. Проблемы внедрения гибких производственных систем в единичном и мелкосерийном производстве и перспективы замены механизированных поточных линий многофункциональными сборочно-сварочными манипуляторами / Материалы МНПК для аспирантов, студентов и курсантов «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России». 19 мая 2022 г.: Часть 1. – СПб. : Изд-во ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2022. – С. 109-119. ISBN 978-5-9509-0487-5.
2. Аграфенин Е.С. Проблемы роботизации технологических процессов сборочно-сварочного производства в судостроении // Технология судостроения. – 1982. – №11. – С. 30-34.
3. Тимченко В.А. Роботы в производстве сварных конструкций: современное состояние и перспективы / Тимченко В.А., Вернадский В.Н. // Автоматическая сварка. 1998. – №5. – С. 55-63.
4. Гусев А. В. Робототехника в судостроении: современные тенденции и перспективы. Журнал судостроения и судоходства, 2019 – С. 45-52.
5. Щеголева О.А. Поточная линия или многофункциональный сборочно-сварочный манипулятор? / О.А. Щеголева, А.Е. Бурмистрова, Е.Г. Бурмистров // Судостроение. – 2024. – №2. – С. 15-20. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-272-281.
6. Пат. 114285 RU, U1. Робототехническое устройство для сварки / Огнев Н.В., Бурмистров Е.Г., Галочкин Д.А. – №2011117731/02; заявлено 03.05.2011; опубл. 20.03.2012, Бюл. №8.
7. А. с. SU880864A1 Установка для изготовления корпусных конструкций / Федотов А.А., Буракин В.Н., Шереметьев Д.Н. – №2830176/27-11; заявлено 17.10.1979; опубл. 15.11.1981, Бюл. №42.
8. Обоснование применения на судостроительных верфях многофункциональных сборочно-сварочных манипуляторов / Е.Г. Бурмистров, О.А. Щеголева, А.Е. Бурмистрова, Т.А. Михеева // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – № 74. – С. 27-36 DOI: 10.37890/jwt.vi74.343.
9. Лебедева Е.Г. Реализация информационной поддержки жизненного цикла изделий судостроения как этап построения «бережливого производства» / Е.Г. Лебедева, Ю.Ю. Шванева, А.А. Волоцкой, А.А. Сомпольцева // Научные проблемы водного транспорта. Выпуск 63. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – С. 68–76. DOI: 10.37890/jwt.vi63.78.
10. Лазарев А.Н. Эффективность гибких производственных систем в судостроении. – Л.: Судостроение, 1989. – 253с. ISBN 5-7355-0108-9.

References

1. Burmistrova A.E., Shchegoleva O.A. Problems of implementing flexible manufacturing systems in single-unit and small-batch production and prospects for replacing mechanized flow lines with multifunctional assembly and welding manipulators / Proceedings of the International Scientific and Practical Conference for graduate students, students and cadets «Modern trends and prospects for the development of water transport in Russia». May 19, 2022: Part 1. - St. Petersburg: Publishing house of the Admiral S.O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 2022. - P. 109-119. ISBN 978-5-9509-0487-5.

2. Agrafenin E.S. Problems of robotization of technological processes of assembly and welding production in shipbuilding // Shipbuilding technology. - 1982. - No. 11. - P. 30-34.
3. Timchenko V.A. Robots in the Production of Welded Structures: Current Status and Prospects / Timchenko V.A., Vernadsky V.N. // Automatic Welding. 1998. - No. 5. - Pp. 55-63.
4. Gusev A. V. «Robotics in Shipbuilding: Current Trends and Prospects.» Journal of Shipbuilding and Shipping, 2019 – P. 45-52.
5. Shchegoleva O.A. Flow line or multifunctional assembly and welding manipulator? / O.A. Shchegoleva, A.E. Burmistrova, E.G. Burmistrov // Shipbuilding. - 2024. - No. 2. - P. 15-20. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-272-281.
6. Patent. 114285 RU, U1. Robotic device for welding / Ognev N.V., Burmistrov E.G., Galochkin D.A. - No. 2011117731/02; declared 03.05.2011; published 20.03.2012, Bulletin №8.
7. A. s. SU880864A1 Installation for manufacturing hull structures / Fedotov A.A., Burakin V.N., Sheremetyev D.N. – №2830176/27-11; declared 17.10.1979; published 15.11.1981, Bulletin №42.
8. Justification for the use of multifunctional assembly and welding manipulators at shipyards / E.G. Burmistrov, O.A. Shchegoleva, A.E. Burmistrova, T.A. Mikheeva // Scientific problems of water transport. - 2023. - No. 73. - P. 27-36 DOI: 10.37890/jwt.vi74.343.
9. Lebedeva, E.G. Implementation of Information Support for the Shipbuilding Product Lifecycle as a Stage in Building Lean Production / E.G. Lebedeva, Yu.Yu. Shvaneva, A.A. Volotskaya, and A.A. Sompoltseva // Scientific Problems of Water Transport. Issue 63. – Nizhny Novgorod: Publishing House of the Volga State University of Water Transport, 2020. – P. 68–76. DOI: 10.37890/jwt.vi63.78.
10. Lazarev, A.N. The Effectiveness of Flexible Production Systems in Shipbuilding. Leningrad: Sudostroenie, 1989. 253 p. ISBN 5-7355-0108-9.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Щеголева Ольга Анатольевна,
аспирант Самарский филиал
Волжского государственного
университета водного транспорта (СФ
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 443036,
Российская Федерация, Самара, ул.
Молодогвардейская, д. 62-64, e-mail:
shh151@mail.ru

Olga A. Shchegoleva, postgraduate
student Samara branch of the Volga State
University of Water Transport (SF
FGBOU VO «VGUVT»), 443036,
Russian Federation, Samara,
Molodogvardeyskaya St., 62-64, e-mail:
shh151@mail.ru

Статья поступила в редакцию 09.10.2025; принята к публикации 10.11.2025;
опубликована онлайн 20.12.2025. Received 09.10.2025; published online 20.12.2025.