

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-272-281

PROSPECTS FOR REPLACING PRODUCTION LINES IN THE SHIPYARDS WORKSHOPS WITH MULTIFUNCTIONAL ASSEMBLY AND WELDING MANIPULATORS

E. G. Burmistrov¹, O. A. Shchegoleva², A. E. Burmistrova¹

¹ — Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russian Federation

² — Samara branch of Volga State University of Water Transport,
Samara, Russian Federation

Some aspects for improving the technical level and flexibility of assembly and welding production of domestic shipyards are discussed in the paper. It is noted that a number of shipyards have integrated mechanized production lines of foreign manufacturers: for metal processing, manufacture of ship hull structures, their painting, etc. As a rule, such lines are equipped with high-performance technological equipment; however, they are ineffective in conditions of small-scale production. The main reason is insufficient line loading. An alternative to such lines can be multifunctional complex mechanized and partially automated assembly and welding manipulators, which are a flexible production module equipped with an assembly and welding portal (or semi-portal) and a set of replaceable mounted assembly and welding equipment. The research purpose is an increase in the technical level and flexibility of assembly and welding production of domestic shipbuilding enterprises in the short term by replacing resource-producing and inefficient due to insufficient loading of mechanized production lines of foreign production with import-substituted multifunctional complex-mechanized assembly and welding manipulators. The subject of the research is a flexibly reconfigurable production system of a shipyard. Mechanized production lines of assembly and welding production and complex mechanized assembly and welding manipulators are accepted as objects of research. As a result of the research, the functionality of assembly and welding manipulators for the assembly of ship hull structures and a set of factors influencing the choice of their design schemes are determined. It is concluded that due to the extreme urgency of the issue considered in the paper, it is necessary to conduct a set of special studies on the theoretical justification of replacing inefficient mechanized production lines with complex mechanized multifunctional assembly and welding manipulators, and a range of priority tasks to achieve this goal is defined.

Keywords: flexible production systems, small-scale production, mechanized production line, assembly and welding manipulator.

For citation:

Burmistrov, Evgeny G., Olga A. Shchegoleva, and Anastasia E. Burmistrova. "Prospects for replacing production lines in the shipyards workshops with multifunctional assembly and welding manipulators." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.2 (2023): 272–281. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-272-281.

УДК 629.12.002

ПЕРСПЕКТИВЫ ЗАМЕНЫ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ В ЦЕХАХ ВЕРФЕЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫМИ МАНИПУЛЯТОРАМИ

Е. Г. Бурмистров¹, О. А. Щеголева², А. Е. Бурмистрова¹

¹ — ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»,
Нижний Новгород, Российская Федерация

² — Самарский филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет
водного транспорта», Самара, Российская Федерация

В статье рассмотрены некоторые аспекты повышения технического уровня и гибкости сборочно-сварочного производства отечественных судостроительных верфей. Отмечается, что на ряде верфей внедрены комплексно-механизированные поточные линии зарубежных производителей для обработки металла, изготовления судовых корпусных конструкций, их окраски и т. п., которые, как правило, укомплектованы высокопроизводительным технологическим оборудованием и предназначены для работы в условиях крупносерийного поточного производства. При этом в условиях мелкосерийного производства они оказываются малоэффективными из-за недостаточной загрузки. Подчеркивается, что альтернативу таким линиям при мелкосерийном типе производства могут составить многофункциональные комплексно-механизированные и частично автоматизированные сборочно-сварочные манипуляторы, представляющие собой гибкий производственный модуль, оснащенный сборочно-сварочным порталом или полупорталом и комплектом сменно-навесного сборочного и сварочного оборудования. Целью исследования является повышение в краткосрочной перспективе технического уровня и гибкости сборочно-сварочного производства отечественных судостроительных предприятий путем замены вырабатывающих или уже выработавших свой ресурс и малоэффективных, ввиду недостаточной загрузки, механизированных поточных линий зарубежного производства импортозамещающими многофункциональными комплексно-механизированными сборочно-сварочными манипуляторами. Предметом исследования в статье является гибко перенастраиваемая производственная система судостроительной верфи. В качестве объектов исследования приняты механизированные поточные линии сборочно-сварочного производства и комплексно механизированные сборочно-сварочные манипуляторы. В результате исследований определен функционал сборочно-сварочных манипуляторов для сборки судовых корпусных конструкций и комплекс факторов, влияющих на выбор их конструктивных схем. Сделан вывод о том, что ввиду чрезвычайной актуальности рассматриваемого в статье вопроса необходимо проведение комплекса специальных исследований по теоретическому обоснованию замены малоэффективных механизированных поточных линий комплексно механизированными многофункциональными сборочно-сварочными манипуляторами и определен круг первоочередных задач для достижения этой цели.

Ключевые слова: мелкосерийное производство, механизированная поточная линия, комплексно механизированный сборочно-сварочный манипулятор.

Для цитирования:

Бурмистров Е. Г. Перспективы замены поточных линий в цехах верфей многофункциональными сборочно-сварочными манипуляторами / Е. Г. Бурмистров, О. А. Щеголева, А. Е. Бурмистрова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 272–281. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-272-281.

Введение (Introduction)

Автоматизация производственных процессов в судостроении на основе применения высокопроизводительного технологического оборудования позиционируется в настоящее время в качестве одного из главных направлений обеспечения конкурентоспособности российских верфей [1]. В области судового корпусостроения проблема может быть решена либо применением гибких производственных систем (ГПС), включающих оборудование с ЧПУ и централизованный транспорт, либо управлением от ЭВМ [1]. Кроме ряда других преимуществ, ГПС позволяют значительно сократить простой оборудования, связанные с переходом к изготовлению изделий другой номенклатуры, и увеличить производительность труда [2].

Возможности ГПС сокращения простоев оборудования определяются тем, насколько быстро эти системы способны приспосабливаться к изготовлению изделий другого наименования, а также к другим изменениям в производственном процессе, т. е. тем, насколько велика их гибкость [3]. Опыт эксплуатации существующих ГПС, с одной стороны, указывает на значительную потерю их эффективности при низком коэффициенте использования технологического оборудования в составе ГПС из-за недостаточного обеспечения его технологической гибкости. С другой стороны, излишнее увеличение технологической гибкости ГПС связано с ростом стоимости и уменьшением технико-экономической эффективности их использования. Отсутствие в современной литературе публикаций, раскрывающих сущность технологической гибкости ГПС, и ранее изложенное обуславливают актуальность проведения специальных исследований.

Целью исследований является повышение технического уровня и гибкости сборочно-сварочного производства отечественных верфей в условиях их мало- и среднесерийной загрузки за счет

широкого применения multifunctional комплексно-механизированных сборочно-сварочных манипуляторов.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В соответствии с ГОСТом 26228–90 «Системы производственные гибкие. Термины и определения, номенклатура показателей» под ГПС понимают совокупность в различных сочетаниях оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени, обладающую свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

Известно, что ГПС ориентированы главным образом на крупносерийный и массовый, т. е. поточный, тип производства изделий, так как применение именно такой формы организации производства повышает его эффективность, обеспечивая не только увеличение выпуска продукции, но и улучшение всех технико-экономических показателей работы предприятия. Необходимость постоянного поддержания ритма потока способствует лучшему использованию оборудования и рабочего времени основных производственных рабочих, а также сокращает потери рабочего времени. Непрерывность производственного процесса в условиях поточного производства обеспечивает также существенное снижение размеров потребных оборотных средств [4], [5]. При стабильности условий работы и специализации поточных производств уменьшается производственный брак и снижается себестоимость продукции. Поточное производство обеспечивает снижение трудоемкости продукции вследствие сокращения затрат времени на его производство и повышение уровня механизации процесса.

Основными факторами повышения эффективности поточного производства являются [6]: использование высокопроизводительного оборудования, применение новейших технологий, увеличение объема выпуска продукции, обеспечение ритмичности производства, повышение производительности труда, сокращение длительности производственного цикла, ускорение оборачиваемости оборотных средств, снижение себестоимости продукции, увеличение, прибыльности и рентабельности. Таким образом, внедрение ГПС в производство обеспечивает определенные производственные преимущества.

Результаты (Results)

В настоящее время можно считать окончательно сформировавшейся тенденцию перехода предприятий к *высокоавтоматизированному гибкому производству* [1], [2], [6], однако мелкосерийное и единичное производство остаются практически вне этого процесса [1]. В полной мере это относится и к современному судостроению, так как оно характеризуется изготовлением небольших партий разнородных изделий с изменяющейся номенклатурой, которые требуют частой переналадки технологического оборудования. Значительные вложения на создание ГПС при этом оказываются экономически нецелесообразными [2], [3]. Поэтому в настоящее время вопрос использования ГПС на судостроительных предприятиях с единичным и мелкосерийным типами производства остается нерешенным, приобретая все большую актуальность. В частности, весьма остро ставится вопрос о целесообразности дальнейшей эксплуатации существующих и разработки новых МПЛ для изготовления судовых корпусных конструкций, так как их использование при строительстве судов малыми сериями и в условиях нестабильной загрузки верфей имеет нюансы, в определенной степени решенные только для средне- и крупносерийного типов производства.

Обследование ряда предприятий с единичным и мелкосерийным типом производства позволило выявить ряд проблем, наличие которых делает невозможным внедрение на них ГПС или их элементов, т. е. при сохранении существующих подходов к организации производства такие предприятия могут остаться неконкурентоспособными. В то же время естественными являются попытки комплексно механизировать некоторые технологические процессы, так как в настоящее

время порядка 70 % от общего объема работ на предприятиях с единичным и мелкосерийным типами производства выполняются вручную. Применение таких мер позволяет сократить общую трудоемкость постройки судов в 1,5–2 раза, а также уменьшить или исключить количество необходимой технологической оснастки [5].

Одним из основных элементов ГПС в судостроении традиционно считаются *комплексно-механизированные поточные линии* (МПЛ) [2]. МПЛ широко используют в корпусообрабатывающем производстве (для предварительной обработки проката, для плазменной и лазерной резки, для формообразования деталей и др.), сборочно-сварочном производстве для изготовления узлов и секций корпуса судна, трубомедницком производстве (для изготовления труб-деталей и узлов трубопроводов), достроечных видах производств и т. п. Общий вид МПЛ для изготовления плоских секций приведен на рис. 1.

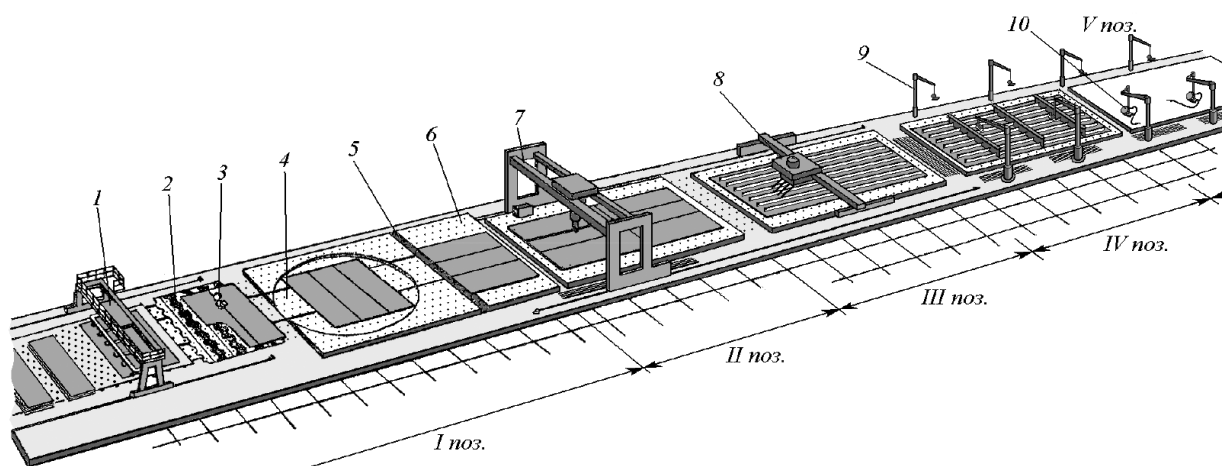


Рис. 1. Общий вид механизированной поточной линии для изготовления крупногабаритных плоскостных секций: 1 — листоукладчик; 2 — стенд с синхронным медным ползуном; 3 — автомат сварочный; 4 — разворотный круг; 5 — формирующее устройство; 6 — стенд сборочный с роликоопорами; 7 — перегружатель набора; 8 — агрегат для групповой приварки набора; 9 — грузовая стрела; 10 — сварочная стрела

Применение МПЛ имеет очевидные преимущества, так как обеспечивает высокую производительность и ритмичность производства при выпуске изделий большими партиями, способствует высвобождению численности квалифицированных рабочих для выполнения работ на других производственных участках и объектах, повышению производительности труда, сокращению длительности производственного цикла и т. п. [5], [6]. Однако статистика эксплуатации МПЛ показывает, что при всех достоинствах как элемента ГПС имеет место ряд факторов, ставящих под сомнение эффективность использования существующих МПЛ, а также создание и внедрение в производство новых МПЛ, в том числе на основе использования гибких производственных модулей и промышленной робототехники [6]–[8]. Как следует из источников: <http://vuz-24.ru/nex/vuz-86719.php> и https://referatwork.ru/category/proizvodstvo/view/291910_effektivnost_potocnogo_proizvodstva, МПЛ для изготовления плоских секций, внедренные за последние 10–15 лет на ряде отечественных судостроительных заводов (ПАО «Завод «Красное Сормово», АО «Зеленодольский завод им. А. М. Горького», ОАО «Невский ССЗ» и др.), используются крайне неэффективно. При производственной мощности, рассчитанной на строительство двенадцати судов водоизмещением 4,5–6,5 тыс. т в год, на каждом из указанных заводов строится не более семи-восьми таких судов в год. Это составляет лишь 55–65 % от расчетной производственной мощности линий, т. е. такой загрузки для МПЛ недостаточно, поэтому почти половину производственного времени МПЛ фактически простаивают, а их чрезвычайно дорогостоящее оборудование используется лишь чуть более, чем наполовину, при том, что стоимость таких линий составляет примерно 23–25 млн долл.

Ситуацию не всегда может изменить даже частичное перепрофилирование МПЛ для изготовления не свойственной для судостроения продукции (например, крупногабаритных мостовых конструкций). Во-первых, это, как правило, разовые заказы. Во-вторых, требуется переналадка технологического оборудования линии под изготовление изделий с иными конструктивно-технологическими характеристиками, а для этого гибкость линии должна быть достаточно высокой и, соответственно, другими режимами обработки. В-третьих, компетенции персонала для производства корпусных и мостовых конструкций различны, что также необходимо учитывать и т. д. Кроме того, существующие МПЛ занимают весьма большие производственные площади. Как правило, это пяти-, семипозиционные линии. Площадь каждой позиции в среднем составляет примерно 220 м², т. е. МПЛ занимает до 1500–2000 м² производственной площади. Все это делает МПЛ чрезвычайно «дорогим удовольствием», которое позволить себе может далеко не каждое, даже вполне успешное предприятие.

Анализ опыта передовых предприятий (не только судостроительных) [9]–[11], показывает, что достаточно эффективной альтернативой МПЛ на предприятиях с единичным или мелкосерийным типом производства оказываются высокопроизводительные комплексно-механизированные многофункциональные сборочно-сварочные манипуляторы (МССМ) и участки. На них полностью или частично могут быть механизированы такие работы, как сборка, транспортировка, манипулирование сварочным инструментом и (или) изделием, загрузка деталей и выгрузка готовых сборочных единиц и т. д. Из источника <http://vuz-24.ru/nex/vuz-86719.php> следует, что оптимальных результатов можно достичь при сочетании использования оборудования для механизации указанных работ с научной организацией труда и соблюдении принципов эргономики, правил санитарии и техники безопасности. Это позволит обеспечить выполнение трудового процесса с минимальной затратой физической и психической энергии работающих.

При разработке конструктивных схем МССМ и его исполнительных механизмов должны быть рассмотрены следующие факторы, оказывающие влияние на его функционирование [12]:

1. *Гибкость производства*, которая характеризуется изменяющейся количественно и качественно производственной программой. Современные проекты судов редко приспособлены к механизированному производству корпусных конструкций, в них не всегда используются модульные принципы проектирования, унификация конструкций и т. п. С учетом этого разрабатываемые МССМ и средства технологического оснащения (СТО) для них должны обладать большой гибкостью.

2. *Облегчение труда*. В настоящее время доля ручного труда в сборочно-сварочных цехах верфей может достигать 60 % и более. Работа с тяжеловесными крупногабаритными конструкциями требует значительных физических усилий, а ограниченное пространство внутри изготавливаемых сборочных единиц (СЕ) обуславливает работу в тяжелых условиях. При разработке МССМ и выборе способа изготовления СЕ необходимо предусмотреть возможность решения этой проблемы.

3. *Устранение неблагоприятных условий труда*. Разрабатываемые МССМ и способы изготовления СЕ должны максимально исключать или ограничивать неблагоприятные условия, такие как запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны от сварки, световое излучение, шум и др.

4. *Приемлемость МССМ для предприятия*. МССМ должны функционировать при выборе любого из следующих, применяемых в настоящее время способов изготовления СЕ: сборки и сварки на одном рабочем месте; сборки и сварки на одном рабочем месте с разбивкой СЕ на узлы; сборки и сварки секций на потоке. Кроме того, МССМ должен иметь минимальную стоимость.

5. *Конструктивная схема МССМ*. Выбранный способ изготовления СЕ должен предусматривать операции, которые можно выполнять максимально простым по конструкции МССМ. То есть конструктивная схема МССМ, с одной стороны, должна соответствовать технологическим возможностям предприятий, а с другой — комплектация МССМ должна быть максимально простой.

6. *Качество работы*. Оценивая и устанавливая способ изготовления СЕ и технологические возможности МССМ, необходимо предусматривать минимальные сварочные деформации и максимально возможную точность изготовления конструкций.

7. *Производительность труда.* Принятый способ изготовления СЕ, конструктивная схема МССМ и другие факторы должны преследовать главную цель: повышение производительности труда при изготовлении СЕ. В связи с этим должно быть механизировано максимальное количество операций при любых условиях организации производства.

Для того чтобы МССМ функционировала в любой схеме организации производственного процесса изготовления СЕ с учетом изложенных ранее факторов, необходимо определить основные требования к разработке его конструктивных схем. Перспективный МССМ для изготовления плоских секций с последующим внедрением в сборочно-сварочных цехах верфей с небольшой загрузкой должен иметь в своем составе следующие составные части (рис. 2): несущую балку полукозлового или порталного типа со сдвоенными ригелями, тележку, колонну подвижную, замковое соединение, сменные исполнительные механизмы, привод передвижения балки, привод передвижения тележки, привод подъема колонны, привод поворота колонны, энергоподвод к балке, энергоподвод к исполнительному механизму, энергоподвод к поворотной колонне, пульт управления на стойке, пульт управления выносной.

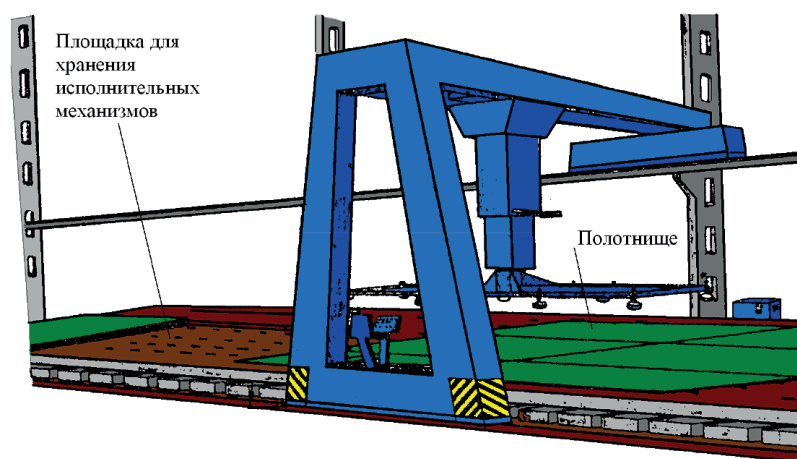


Рис. 2. Общий вид многофункционального сборочно-сварочного манипулятора

Нижняя часть колонны с исполнительным механизмом (ИМ) должна иметь четыре степени свободы перемещения. Приводы несущей балки и тележки должны иметь регулируемую скорость передвижения в пределах скорости сварки, газовой резки и маршевой скорости перемещения подвижных составных частей. Портал, тележка, колонна МССМ должны иметь четкую фиксацию при остановке. Точность фиксации должна быть в пределах ± 2 мм. Привод подъема подвижной части колонны должен быть жестким (пнеumo- или гидропривод, рейковый привод и т. д.). МССМ должен отвечать современным требованиям технической эстетики и эргономики, а его составные части соответствовать антропометрическим данным человека. Кроме того, МССМ должен соответствовать современным требованиям техники безопасности, а его габаритно-конструктивные характеристики должны соотноситься с техническими характеристиками изготавливаемых СТО.

Принципиально в МССМ могут применяться следующие варианты энергоподвода (электроэнергии, сжатого воздуха, CO_2): энергоподвод к МССМ и непосредственно к каждому ИМ (например, связанная с МССМ многозвенная консольная балка); энергоподвод только к МССМ-носителю, а от него к ИМ. Очевидно, что детали и узлы МССМ должны изготавливаться из наиболее доступных материалов, должны быть взаимозаменяемы в пределах участка, линии, цеха, предприятия, т. е. должны иметь максимальный уровень унификации и стандартизации. Кроме того, конструкция МССМ и его составных элементов должна удовлетворять требованиям последующей поэтапной модернизации с механизированным выполнением максимального количества технологических операций на данном этапе и полностью автоматизированным (роботизированным) в перспективе.

Структура МССМ и его ИМ должна отвечать современным принципам модульно-блочного построения, а их конструкция иметь возможность оперативной переналадки на изготовление различных типов СЕ. Кроме того, МССМ как гибкое оборудование, должен иметь возможность оперировать как с неподвижной СЕ, так и перемещать ее и / или отдельные ее элементы. При этом на всех этапах изготовления СЕ должна осуществляться информационная поддержка всех основных технологических операций [13].

Важно, чтобы МССМ был адаптирован для работы при различных технологических схемах организации производства:

- секция изготавливается на одном рабочем месте, а в МССМ по ходу выполнения технологического процесса последовательно заменяются ИМ (в этом случае МССМ, по сути, представляет собой сборочно-сварочный центр);
- комплект секций также изготавливается на одном рабочем месте, при этом разбивается, например, на три группы элементов: полотнище, панель, секция. ИМ сменяются по ходу выполнения технологического процесса отдельно для изготовления каждой группы элементов (т. е. не более трех раз, т. е. реже, чем в предыдущей схеме);
- СЕ изготавливается в потоке — МССМ размещены по ходу технологического процесса, при этом ИМ стабильно закреплены на МССМ или подлежат замене в зависимости от количества МССМ на линии или от выполняемых операций. В этом случае стенды для размещения СЕ должны оснащаться подъемно-опускными роликоопорами.

При размещении МССМ на рабочем месте должно быть четко определено местонахождение ИМ в порядке выполнения технологического процесса в специальных контейнерах или в магазинах. МССМ также должен быть оборудован быстродействующим замковым соединением — промежуточным звеном между МССМ и ИМ, расположенным на конце подвижной колонны. Высота подъема подвижной колонны должна быть выбрана исходя из следующих условий: максимальная высота перемещаемых изделий (набора); габариты захватных механизмов; безопасная работа обслуживающего персонала. Для обеспечения удобства работы МССМ должен быть оборудован двумя дублирующими пультами управления: *стационарным* на стойке или вне агрегата и *откидным* на подвижной колонне.

Обсуждение (Discussion)

Учитывая ранее изложенное, технико-экономическая эффективность МССМ может быть достигнута при соблюдении следующих условий:

- снижение затрат времени на выполнение различных вспомогательных работ;
- повышение количества наплавленного металла в единицу времени путем преимущественного выполнения сварки в нижнем положении с помощью манипуляторов-кантователей или позиционеров;
- механизация сборочных работ, установка и переустановка заготовок, главным образом за счет применения входящих в состав участка транспортных и подъемных средств;
- экономия производственных площадей;
- улучшение условий труда вследствие применения вентиляционных устройств, балансиров для подвески инструмента, столов с поворотными деками, повышения энергооснащенности рабочих мест и др.;
- снижение расходов на проектирование при использовании типовых решений и технологий.

Таким образом, комплексно-механизированные МССМ и участки на их основе, при наличии сопоставимых с существующими МПЛ технико-экономических показателей и функционала позволяют выполнять соответствующие единичному и мелкосерийному типу производства задачи (строительство 2–6 суд./год); обеспечивают достаточно высокий уровень гибкости производства в широком диапазоне конструктивно-технологических характеристик выпускаемой продукции; занимают в 4–5 раз меньшую производственную площадь с меньшей более чем в 5 раз себестоимостью.

При этом несмотря на указанные достоинства МССМ обоснованием их внедрения на судостроительных предприятиях взамен традиционных МПЛ (или параллельно с ними) до настоящего

времени отраслевая наука не занималась. При этом изучением вопросов создания и внедрения ГПС на основе МПЛ в 70–80-е гг. XX в. занимались отраслевые НИИ и профильные кафедры многих вузов, включая ВГУВТ (ГИИВТ). В частности, известны работы в данной области Центрального научно-исследовательского института технологии судостроения (ЦНИИТС, г. Ленинград). Многие проекты этого института были успешно внедрены на «Адмиралтейских верфях», «Балтийском заводе» (г. Ленинград), «Севмашпредприятии» (г. Северодвинск) и других заводах морского судостроения. Кафедра технологии судостроения и профильная проблемная лаборатория технологии судостроения ГИИВТа под руководством проф. Ю. Г. Кулика занималась аналогичными работами для заводов речного судостроения. Некоторые проекты кафедры технологии судостроения ГИИВТа (например, проект сборочно-сварочного агрегата для изготовления модуль-панелей (1981 г.) и проект МПЛ изготовления плоских секций для Городецкой судовой верфи (1979 г.)) были внедрены на судостроительном заводе «Ока» (г. Навашино) и «Городецкой судовой верфи» (г. Городец). Интерес к МПЛ в те годы был оправдан крупносерийным и массовым строительством сухогрузных и наливных судов типа «Волго-Дон», «Волгонепфть», «Сормовский», «Нефтерудовоз» и других судов, серийного строительства до 350–650 единиц.

В настоящее время в связи с мелко- и среднесерийным типом судостроительного производства (не более 50–60 судов в серии) актуальность приобретают вопросы повышения гибкости производственной системы верфи при мелко- и среднесерийном строительстве судов. В частности, поэтому в настоящее время требуется проведение специального исследования по обоснованию разработки, созданию и внедрению на судостроительных предприятиях комплексно механизированных сборочно-сварочных манипуляторов.

Заключение (Conclusion)

Обоснование замены малоэффективных поточных линий на специализированных участках изготовления секций корпусов судов комплексно механизированными сборочно-сварочными манипуляторами представляется весьма актуальным. Для этого необходимо:

- выполнить анализ современного состояния проблемы обеспечения гибкости производственной системы сборочно-сварочного производства, в том числе рассмотреть совокупность факторов, влияющих на эффективность производства верфи, способы обеспечения гибкости и т. п.;
- теоретически обосновать модели обеспечения гибкости производственной системы сборочно-сварочного производства при единичном и мелкосерийном типах производства и разработать соответствующую модель ГПС сборочно-сварочного производства для оптимизации её параметров;
- выполнить экспериментальные исследования модели обеспечения гибкости производственной системы сборочно-сварочного производства верфи при единичном и мелкосерийном типах производства;
- разработать рекомендации по повышению гибкости производственной системы сборочно-сварочного производства при мелкосерийном строительстве судов на основе применения МССМ;
- выполнить технико-экономическое обоснование замены МПЛ на комплексно механизированные МССМ при произвольной загрузке производства и подтвердить его соответствующими расчётами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полякова М. Ю. Гибкие производственные системы как основа комплексной автоматизации технологических процессов / М. Ю. Полякова // Наука. Технологии. Общество. Экономика. Сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции. — Ставрополь: ООО «Секвойя», 2022. — С. 290–293.
2. Бурмистрова А. Е. Проблемы внедрения гибких производственных систем в единичном и мелкосерийном производстве и перспективы замены механизированных поточных линий многофункциональными сборочно-сварочными манипуляторами: в 2 ч. / А. Е. Бурмистрова, О. А. Щеголева // Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России : материалы межвузовской науч.-практ.

конф. для асп., студ. и курс., 19 мая 2022 г. — Ч. 1. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2022. — С. 209–219.

3. Белов А. Ю. Повышение эффективности производства за счёт использования систем промышленной автоматизации / А. Ю. Белов, Д. А. Синицын // *Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы* / Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. — М.: ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», 2020. — С. 19–23.

4. Титова О. В. Эффективное развитие гибких производственных систем на высокотехнологичных промышленных предприятиях / О. В. Титова // *Финансовый бизнес*. — 2021. — № 6 (216). — С. 268–271.

5. Голов Р. С. Формирование гибких производственных систем на базе цифровых технологий на предприятиях высокотехнологичных отраслей промышленности / Р. С. Голов, В. В. Мыльник // *СТИН*. — 2022. — № 2. — С. 34–36.

6. Дуюн И. А. Оценка эффективности работы гибких производственных систем и роботизированных комплексов с использованием имитационного моделирования / И. А. Дуюн, К. В. Чуев // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова*. — 2021. — № 4. — С. 91–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-91-100.

7. Резник А. М. Технология сварки с использованием роботов. Преимущества и недостатки. Перспективы развития / А. М. Резник, А. В. Полякова // *Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста* / Материалы V Всеросс. науч.-практ. конф. — М.: Московский гос. техн. ун-т имени Н. Э. Баумана, 2022. — С. 215–219.

8. Арсентьева Т. М. Проблемы внедрения гибких производственных систем в мелкосерийном и единичном производстве / Т. М. Арсентьева, Е. Г. Бурмистров // *Великие реки-2020* / Труды 22-го Междунар. науч.-промышл. форума. — Н. Новгород: Волжский гос. ун-т водного транспорта, 2020. — С. 20–23.

9. Шолохов М. А. Факторы эффективности внедрения сварочных роботов в индустрии 4.0 / М. А. Шолохов, И. В. Ершова, Д. С. Бузорица, С. С. Полосков // *Сварка и диагностика*. — 2020. — № 5. — С. 41–44.

10. Белозеров Д. А. Проблемы рынка робототехники в России и перспективы коммерциализации разработок / Д. А. Белозеров // *Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО* / Материалы XLIX науч. и учеб.-метод. конф. — СПб.: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», 2020. — Т. 5. — С. 47–51.

11. Дун Ю. Э. Конкурентоспособность производства как основной фактор эффективного управления предприятием в рыночных условиях / Ю. Э. Дун, А. М. Бричко // *Економіка та управління АПК*. — 2019. — Т. 2. — № 151. — С. 67–75. DOI: 10.33245/2310-9262-2019-151-2-67-75.

12. Булавко О. А. Развитие гибких производственных систем в условиях нового технологического уклада / О. А. Булавко, Л. Р. Туктарова // *Бизнес. Образование. Право*. — 2021. — № 2 (55). — С. 39–43. DOI: 10.25683/VOLBI.2021.55.207.

13. 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*. — 2020. — № 63. — С. 68–76. DOI: 10.37890/jwt.vi63.78.

REFERENCES

1. Polyakova, M. Yu. “Gibkie proizvodstvennyye sistemy kak osnova kompleksnoi avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov.” *Nauka. Tekhnologii. Obshchestvo. Ekonomika. Sbornik nauchnykh trudov I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Stavropol’: Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost’yu, “SEKVOIYa”, 2022. 290–293.

2. Burmistrova, A. E., and O. A. Shchegoleva. “Problems of implementation of flexible production systems in single and small-series production and prospects for replacing mechanized production lines with multifunctional assembly and welding manipulators.” *Materialy mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii dlya aspirantov, studentov i kursantov «Sovremennye tendentsii i perspektivy razvitiya vodnogo transporta Rossii» 19 maya 2022 goda: Chast’ 1*. SPb.: Izd-vo GUMRF im. admirala S. O. Makarova, 2022. 209–219.

3. Belov, A. Y., and D. A. Sinitsyn. “Improving production efficiency through the use of industrial automation systems.” *Tekhnika i tekhnologii, politika i ekonomika: problemy i perspektivy. Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. M.: FGAOU VO “Moskovskii politekhnikeskii universitet”, 2020. 19–23.

4. Titova, O. V. “Effective development of flexible production systems in high-tech industrial enterprises.” *Finansovyi biznes* 6(216) (2021): 268–271.

5. Golov, R. S., and V. V. Myl'nik. "Formirovanie gibkikh proizvodstvennykh sistem na baze tsifrovyykh tekhnologii na predpriyatiyakh vysokotekhnologichnykh otraslei promyshlennosti." *STIN* 2 (2022): 34–36.

6. Duyun, I., and K. Chuev. "Evaluation of the efficiency of flexible production systems and robotic complexes using simulation." *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov* 4 (2021): 91–100. DOI: 10.33403/2071-7318-2021-6-4-91-100.

7. Reznik, A. M., and A. V. Polyakova. "Welding technology using robots. Advantages and disadvantages. Development prospects." *Sistemy upravleniya polnym zhiznennym tsiklom vysokotekhnologichnoi produktsii v mashinostroenii: novye istochniki rosta. Materialy V Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. M.: Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni N. E. Bauman, 2022. 215–219.

8. Arsenteva, Tatyana M., and Evgeny G. Burmistrov. "Problems of introduction of flexible production systems in small-scale and single production." *Velikie reki-2020. Trudy 22-go Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma*. Nizhnii Novgorod: Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta, 2020. 20–23.

9. Sholokhov, M. A., I. V. Ershova, D. S. Buzorina, and S. S. Poloskov. "Factors in the effectiveness of the introduction of welding robots in the industry 4.0." *Welding and Diagnostics* 5 (2020): 41–44.

10. Belozarov, D. A. "Problemy rynka robototekhniki v Rossii i perspektivy kommersializatsii razrabotok." *Al'manakh nauchnykh rabot molodykh uchenykh Universiteta ITMO. Materialy XLIX nauchnoi i uchebno-metodicheskoi konferentsii*. Vol. 5. SPb.: FGAOU VO «Natsional'nyi issledovatel'skii universitet ITMO», 2020. 47–51.

11. Dong, Yu., and A. Bruchko. "Competitiveness of production as a determining factor of effective management of the enterprise in market conditions." *Agribusiness Economics and Management* 2.151 (2019): 67–75. DOI: 10.33245/2310-9262-2019-151-2-67-75.

12. Bulavko, Olga Aleksandrovna, and Lilia Ravilievna Tuktarova. "Development of flexible production systems in the conditions of a new technological style." *Business. Education. Law* 2(55) (2021): 39–43. DOI: 10.25683/VOLBI.2021.55.207.

13. Lebedeva, Elena G., Yuliya Yu. Shvaneva, Alexander A. Volotskoi, and Anna A. Sompoltseva. "Implementation of information support for the shipbuilding products life cycle as a stage of creating "lean production"." *Russian Journal of Water Transport* 63 (2020): 68–76. DOI: 10.37890/jwt.vi63.78.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бурмистров Евгений Геннадьевич —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Волжский государственный
университет водного транспорта»
603950, Российская Федерация, Нижний Новгород,
ул. Нестерова, 5
e-mail: burmistrov_e_g@mail.ru

Щеголева Ольга Анатольевна — аспирант
Научный руководитель:
Бурмистров Евгений Геннадьевич
Самарский филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
443036, Российская Федерация, Самара,
ул. Неверова, 87
e-mail: shh151@mail.ru

Бурмистрова Анастасия Евгеньевна —
специалист отдела НИР
ФГБОУ ВО «Волжский государственный
университет водного транспорта»
603950, Российская Федерация, Нижний Новгород,
ул. Нестерова, 5
e-mail: sovvesna@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Burmistrov, Evgeny G. —
Doctor of Technical Sciences, professor
Volga State University
of Water Transport
5 Nesterova Str., Nizhny Novgorod, 603950,
Russian Federation
e-mail: burmistrov_e_g@mail.ru

Shchegoleva, Olga A. — Postgraduate
Supervisor:
Burmistrov, Evgeny G.
Samara branch of Volga State University
of Water Transport
87 Neverova Str., Samara, 443036, Russian Federation
e-mail: shh151@mail.ru

Burmistrova, Anastasia E. —
Specialist of the Research Department
Volga State University
of Water Transport
5 Nesterova Str., Nizhny Novgorod, 603950,
Russian Federation
e-mail: sovvesna@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2023 г.
Received: February 15, 2023.