

Изготовление свайной продукции с применением автоматической сварки порошковой самозащитной проволокой при сооружении гидротехнических объектов

Емельянов А. В.¹, инженер, Нестеров Г. В.², кандидат техн. наук,
Юшин А. А.³, кандидат техн. наук, Ткачук М. А.⁴, инженер,
Вятченников В. В.⁵, инженер (ООО “Синарастройкомплект”),
Гузей В. С.⁶, инженер, (ООО “Морские технологии”)

Приводятся преимущества технологии АПС при выполнении кольцевых сварных соединений труб диаметром до 2520 мм, рациональная форма разделки кромок при выполнении сварных соединений с толщинами стенок до 40 мм. Показана возможность реализации сборочно-сварочных участков (стапелей) для укрупнительной сборки изделий в условиях экстремально низких температур с применением основного оборудования только отечественного производства.

Ключевые слова: автоматическая сварка, порошковая самозащитная проволока, сваи, шпунт трубчатый сварной, гидротехнические сооружения.

Development of production and supply of piles and welded tubular sheet piling for the construction of seaports in the Arctic zone

Emelyanov A. V.¹, Engineer, Tkachuk M. A.², Nesterov G. V.³, Candidate of Technical Sciences, Yushin A. A.⁴, Candidate of Technical Sciences, Viatchennikov V. V.⁵, Engineer (limited liability company “Sinarastrykomplekt”), Guzey V. S.⁶, Engineer (limited liability company “Marine technologies”)

The advantages of the FCAW-S technology when performing annular welded joints of pipes with a diameter of up to 2520 mm, the rational form of cutting edges when performing welded joints with wall thicknesses up to 40 mm are given. The possibility of implementing assembly and welding sections (slipways) for the consolidation assembly of products under extremely low temperatures using the main equipment of only domestic production is shown.

Keywords: self-shielding tubular wire, automatic welding, piles, welded tubular sheet pile, hydraulic structures.

За последнее десятилетие, в связи с развитием инфраструктуры и грузооборота Северного морского пути, в условиях Арктики на территории РФ реализован и находится на стадии строительства целый ряд уникальных портовых сооружений для транспортировки сжиженного природного газа, нефти, а также угля [1].

Строительство портовых гидротехнических сооружений в сложных топографических, геологических, гидрологических и климатических условиях предъявляет повышенные требования к основным элементам конструкций данных сооружений, что, в свою очередь, даёт толчок развитию технологий производства на металлургических и машиностроительных предприятиях РФ. Кроме того, поми-

мо технических вопросов крайне важным аспектом является решение логистических задач, связанных с доставкой изделий со значительными массогабаритными характеристиками на отдаленные, труднодоступные участки строительства, расположенные в Арктике, автомобильным, железнодорожным, водным (речным и морским, в том числе с привлечением ледокольного сопровождения) видами транспорта.

Одними из основных элементов конструкций причалов и берегоукреплений современных портовых гидротехнических сооружений, расположенных в Арктике, является свайная продукция: стальные сваи и шпунт трубчатый сварной (далее — ШТС), которые наряду с повышенными требованиями к прочности и ударной вязкости при отрицательных температурах характеризуются значительными массогабаритными параметрами [2].

Конструктивно свая представляет собой сваренные встык несколько труб определенной длины. Для снижения деформации при погружении к верх-

¹ emelyanovav@sinstc.ru

² nesterovgv@sinstc.ru

³ iushinaa@sinstc.ru

⁴ tkachukma@sinstc.ru

⁵ viatchennikov@sinstc.ru

⁶ vguzey@seatech.pro

ней и нижней частям сваи при необходимости могут привариваться усиливающие накладки из листовой заготовки, толщиной не менее толщины трубы.

ШТС — это свая, к наружной поверхности которой приваривают два замковых профиля (замка), располагаемых в одной диаметральной плоскости или в двух радиальных плоскостях под требуемым проектной документацией углом (рис. 1).

Сегмент свайной продукции находящийся выше уровня грунта, может покрываться защитным антикоррозионным покрытием (АКП) [3].

Основные характеристики свай и ШТС, наиболее широко применяемых в конструкции причалов и берегоукреплений, приведены в табл. 1.

Дополнительно для кольцевых стыков труб могут быть установлены требования к относительно удлинению и твёрдости.

Требования к свайной продукции определяются следующими основными нормативными документами РФ: СНиП 3.07.02-87⁷, ГОСТ Р 52664-2010⁸ и др.

Как правило, полуфабрикатом для изготовления свай и ШТС являются трубы стальные электросварные прямошовные, например, по ГОСТ 10704-91⁹, ГОСТ 10705-80¹⁰, ГОСТ 10706-76¹¹, ГОСТ 58064-2018¹², ГОСТ 33228-2015¹³, и фасонный прокат (для замковых соединений ШТС), поставляемый по техническим условиям заводов-изготовителей.

Важно отметить, что обеспечение смещения кромок в кольцевых сварных стыках свай и ШТС в соответствии с ГОСТ Р 52664-2010 и СНиП 3.07.02-87 предъявляет повышенные требования к геометрическим параметрам труб, в особенности к

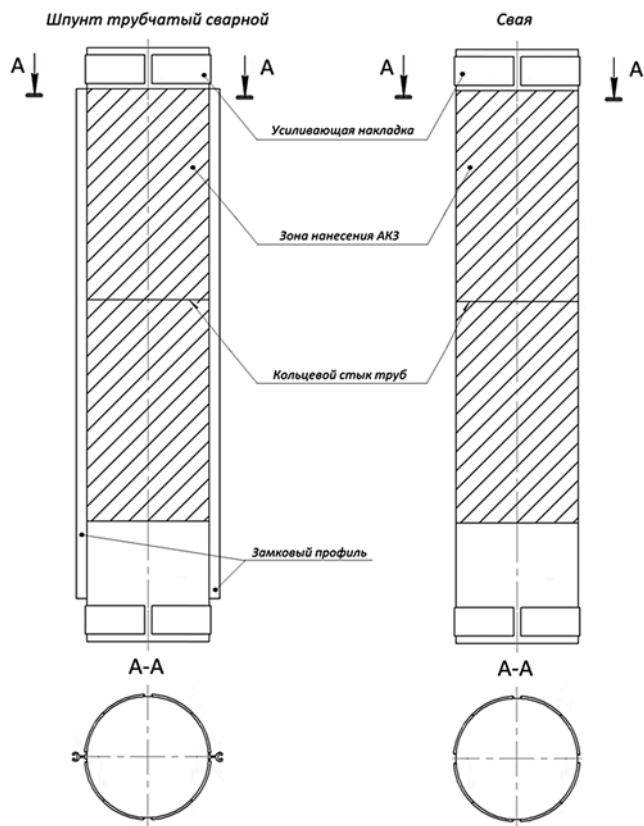


Рис. 1. Общий вид шпунта трубчатого сварного и сваи

допустимому отклонению от теоретической окружности торцов, контроль которого требованиями междугосударственных и национальных стандартов РФ на трубы обычного назначения не предусмотрен. Учитывая особенности технологии и применяемое оборудование при изготовлении труб диаметром 1620 – 2520 мм, наиболее критичными участками трубы по данному параметру являются зоны продольных сварных швов. В этой связи целесообразно для труб диаметром 1620 – 2520 мм, экспандирование (калибровка) которых не предусмотрено при производстве, установить требование по контролю отклонения профиля наружной поверхности от теоретической окружности в зоне продольных сварных швов торцов труб специальным шаблоном (рис. 2). Отсутствие данного контроля, а также технического требования по величине допустимого отклонения профиля наружной поверхности от теоретической окружности в зоне продоль-

⁷ СНиП 3.07.02-87 Гидротехнические морские и речные транспортные сооружения.

⁸ ГОСТ Р 52664-2010 Шпунт трубчатый сварной. Технические условия.

⁹ ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент.

¹⁰ ГОСТ 10705-80 Трубы стальные электросварные. Технические условия.

¹¹ ГОСТ 10706-76 Трубы стальные электросварные прямошовные. Технические требования.

¹² ГОСТ 58064-2018 Трубы стальные сварные для строительных конструкций. Технические условия.

¹³ ГОСТ 33228-2015 Трубы стальные сварные общего назначения. Технические условия.

Т а б л и ц а 1

Основные характеристики свай и ШТС

Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина, мм	Класс прочности труб	Ударная вязкость основного металла и сварных швов, КСV ⁻⁴⁰ , Дж/см ²	Вес, тн
До 2520	До 40	До 75 000	До К60 (КП460)	≥29	До 155



Рис. 2. Проведение контроля отклонения профиля наружной поверхности торца трубы

ных сварных швов торцов труб, может привести к необходимости осуществления правки торцов труб при сборке кольцевых сварных швов.

Ещё одним ключевым и в то же время трудно поддающимся контролю геометрическим параметром труб диаметром 1620 – 2520 мм, оказывающим существенное влияние на собираемость кольцевых стыков, является отклонение торцов труб от прямого угла (косина реза).

Во избежание значительного увеличения трудозатрат на операцию сборки стыков труб вышеуказанные параметры необходимо контролировать до отправки заготовок на площадки строительства.

Удалённое расположение заводов-изготовителей свай и ШТС от объектов строительства, а также ограничения по длине транспортируемых изделий железнодорожным (максимальная длина изделия до 24 м) и автомобильным (максимальная длина изделия до 36 м) транспортом не позволяет осуществлять транспортирование указанных в табл. 1 изделий в готовом виде. Данное обстоятельство обуславливает необходимость изготовления свай и ШТС в виде сегментов (секций) длиной до 24 м (в отдельных случаях до 36 м), последующую их транспортировку и укрупнительную сборку до проектной длины непосредственно на объекте строительства.

При проведении укрупнительной сборки изделий до проектных размеров на строительной площадке необходимо выполнять следующие сварные соединения:

- 1) кольцевые неповоротные стыки труб (до 5 стыков на одном изделии, в зависимости от проектной длины);
- 2) тавровый стык в зоне приварки замкового профиля к трубе (для ШТС);
- 3) стык замковых профилей между собой (для ШТС).

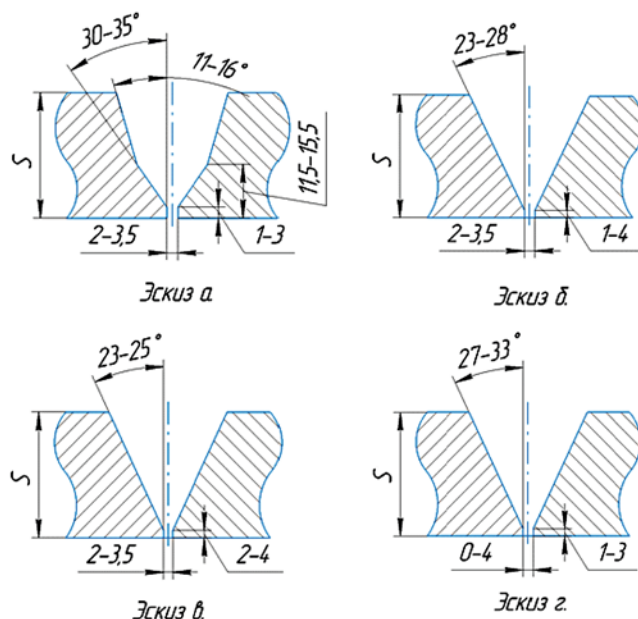


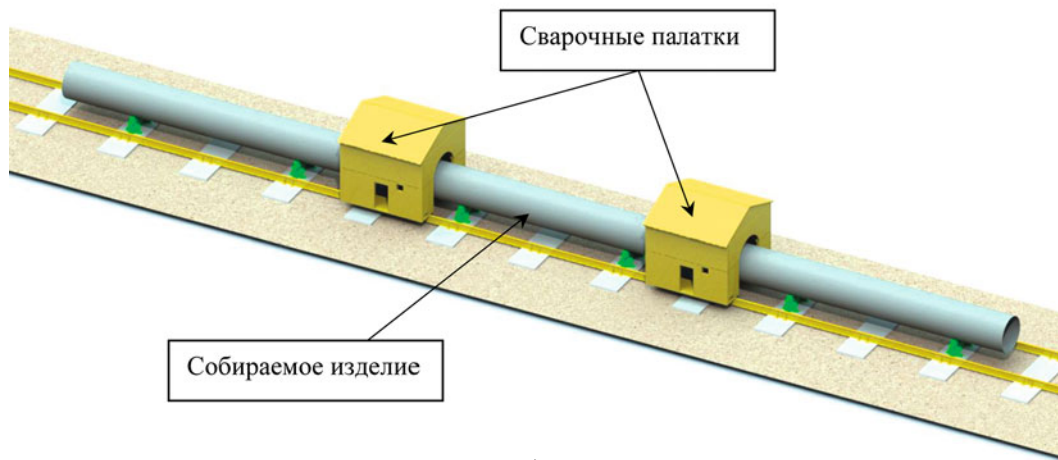
Рис. 3. Виды разделки кромок сварных соединений пробных образцов

Стык приварки замкового профиля к трубе и стык профиля с профилем являются небольшими по протяженности и, как правило, выполняются с помощью ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

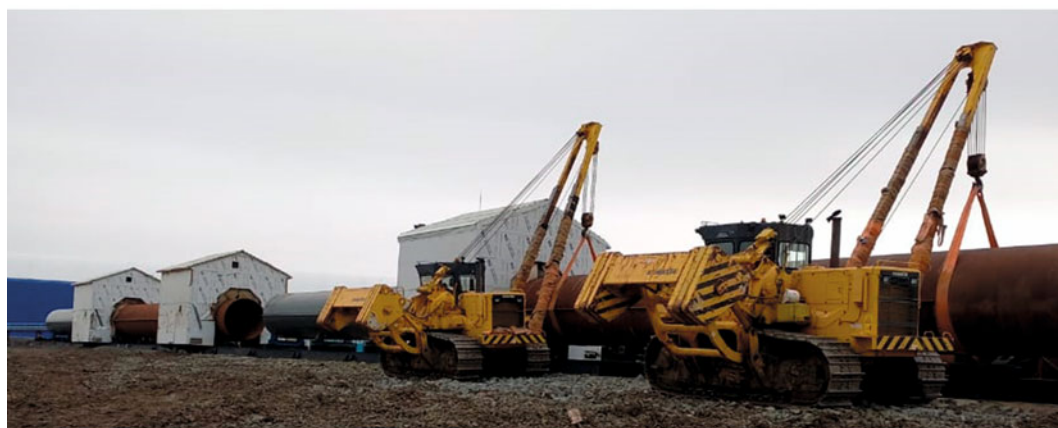
Выбор технологии сварки кольцевых стыков труб в условиях арктических площадок строительства является нетривиальной задачей. Это обуславливается следующими факторами:

- 1) необходимость гарантированного обеспечения заданных механических характеристик стыков, а также требуемого качества сварных соединений по результатам неразрушающего контроля;
- 2) наличие негативных природных факторов — низкая температура до минус 50 °С, сильные ветры до 20 м/с, высокая влажность воздуха;
- 3) удалённость площадок строительства от основных логистических путей;
- 4) необходимость специализированного хранения и утилизации остатков сварочных и вспомогательных материалов, а также их упаковки;
- 5) высокий градиент температур как при предварительном подогреве, так и во время сварки вследствие большой массы и габаритных размеров изделия;
- 6) ограничения по допустимой потребляемой мощности сварочного и вспомогательного оборудования;
- 7) повышенные требования к надежности сварочного и вспомогательного оборудования.

В связи с этим в рамках подготовки производства по укрупнительной сборке свайной продукции рассматривались следующие технологии сварки:



а)



б)

Рис. 4. Схема (а) и общий вид (б) стапеля для укрупнительной сборки и сварки ШТС и свай

Таблица 2

Результаты механических испытаний сварных соединений, выполненных различными порошковыми самозащитными проволоками

Марка проволоки	Временное сопротивление, МПа	Ударная вязкость, КСV ⁻⁴⁰	Твердость, НV10	Заключение о соответствии
Марка 1 (США)	620 – 670	110 – 192	≤220	Соотв.
Марка 2 (Ю. Корея)	600 – 650	89 – 107	≤200	Соотв.
Марка 3 (Китай)	599 – 631	65 – 104	≤250	Соотв.
Марка 4 (Китай)	595 – 653	80 – 115	≤199	Соотв.
Нормативный показатель (для КП 460)	≥590	≥29	–	–

– ручная дуговая сварка покрытыми электродами с основным видом покрытия всех слоёв шва (РД);

– комбинированная технология ручной дуговой сварки корневого слоя шва и автоматической сварки порошковой самозащитной проволокой заполняющих и облицовочных слоёв шва (РД + АПС);

– комбинированная технология ручной дуговой сварки корневого слоя шва и автоматическая сварка сплошной проволокой в смесях защитных газов заполняющих и облицовочных слоев шва с применением узкощелевой разделки кромок (РД + АПГ);

– комбинированная технология ручной дуговой сварки корневого слоя шва и автоматическая сварка под слоем флюса заполняющих и облицовочных слоев шва (РД + АФ).

Каждой из вышеуказанных технологий присущи свои особенности, положительные моменты и недостатки. Так основным недостатком РД является крайне низкая производительность при сварке неповоротных стыков труб больших толщин и диаметров. Применение защитных газов требует больших помещений для хранения баллонного парка, что не всегда возможно обеспечить в условиях ог-



Рис. 5. Центриратор внутренний гидравлический

раниченных площадей, отведенных для строительства. Отдельным недостатком применения защитных газов является необходимость доставки и последующего возврата баллонов на заправку, что в условиях логистических ограничений становится крайне дорогостоящей операцией, особенно в период обледенения Северного морского пути.

Автоматическая сварка под слоем флюса требует вращения заготовок, что сложно организовать с учётом габаритных размеров изделия. Необходимость вращения заготовок привела бы к значительному усложнению конструкции сварочного стапеля, оснащению его устройствами для перехвата свариваемых секций в зоне замкового профиля. Высокая стоимость оборудования, оснастки, значительные затраты на поддержание работоспособности большого количества приводов, работающих в тяжёлых климатических условиях, также являются недостатками данного способа сварки.

Таким образом, по результатам анализа особенностей вышеуказанных технологий сварки в качестве приоритетной была выбрана комбинированная технология РД + АПС.

Применение порошковой самозащитной проволоки, в том числе в сочетании с автоматическими сварочными головками, имеет ряд существенных технологических особенностей, широко освещённых в статьях [4, 5].

С применением выбранной технологии, в связи с большой толщиной свариваемых элементов, был выполнен ряд пробных стыков для оптимизации разделки кромок торцов труб под сварку (рис. 3),

¹⁴ СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции.

¹⁵ ГОСТ 25616-83 (СТ СЭВ 3235-81) Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств.

¹⁶ ГОСТ 6996-66 Сварные соединения. Методы определения механических свойств.



Рис. 6. Общий вид зоны выполнения сварочных работ

подобраны оптимальные режимы сварки для различных участков кольцевых швов.

По результатам анализа технологичности выполнения экспериментальных стыков наиболее рациональной была принята конструкция, приведённая на эскизе б (рис. 3). Данная разделка характеризуется минимальным объёмом наплавленного металла при удовлетворительном формировании отдельных слоёв и валиков (в том числе пристеночных).

Для готовых стыков был выполнен визуальный и измерительный, а также ультразвуковой контроль сварных соединений в объёме 100 % длины каждого шва. Критерии отбраковки стыков принимались по СП 70.13330.2012¹⁴. По результатам неразрушающего контроля все сварные соединения были признаны годными.

В рамках проведения испытаний были выбраны 4 марки проволоки производства США (1 марка), Ю. Корея (2 марка), Китай (3 и 4 марка). Проволоки показали высокие значения по всем показателям сварочных свойств (4–5 баллов) по ГОСТ 25616-83¹⁵.

Также, с целью подбора сварочных материалов, обеспечивающих заданные показатели механических характеристик сварных соединений, были проведены испытания стандартных образцов, изготовленных в соответствии с требованиями ГОСТ 6996-66¹⁶.

Результаты испытаний приведены в табл. 2 и полностью соответствуют установленным требованиям.

Самые высокие показатели сварочно-технологических свойств показали проволоки производст-

ва Китай. Также, данные проволоки отличаются отсутствием порообразования и шлаковых карманов, большим объёмом сварочной ванны при сварке потолочных участков кольцевых стыков. С учётом данного фактора, а также по результатам проведённых испытаний, оценки стоимости, санкционных рисков, было принято решение применять при производстве свайной продукции данную проволоку (3 и 4 марка).

Следует отметить, что при подборе сварочных материалов было установлено практически полное отсутствие с 2022 г. производства в промышленных масштабах на территории РФ самозащитных порошковых проволок, обеспечивающих требуемые механические характеристики стыков, а с учётом планируемых к реализации масштабных проектов данный фактор является крайне значимым (даже с учётом общемирового распределения производства порошковой проволоки [6, 7]).

С целью осуществления укрупнительной сборки изделий до проектных размеров был разработан и изготовлен специализированный стапель (рис. 4). Стапель состоит из следующих основных элементов:

- рельсовый путь;
- неподвижные опоры, в том числе оборудованные роликами для возможности вращения труб при сборке и подгонке замковых профилей;
- утеплённые сварочные палатки.

Для повышения производительности сборки сегментов был разработан центратор внутренний гидравлический с номинальным суммарным усилием, развиваемым одним центрирующим рядом, 3500 кН (рис. 5). Центраторы с таким усилием не выпускаются на территории РФ серийно.

Центратор оснащен двумя рядами фиксирующих жимков (общее количество жимков — 48 шт.) и предназначен для работы при температуре окружающего воздуха до минус 50 °С.

Применяемое для сборки сегментов оборудование и приспособления позволяют выполнять сборку труб с максимальным смещением кромок 2,0 мм, в том числе, с учётом овальности.

В состав сварочных палаток были включены автоматические комплексы для орбитальной неповоротной сварки кольцевых стыков труб, а также оборудование для индукционного подогрева стыка, изготовленные на территории РФ (рис. 6).

Для сварки кольцевых стыков автоматическими головками со стабильным уровнем качества был решен ряд технологических проблем. Произведено переоснащение сварочных головок: установлены шпули для удерживания сварочных катушек массой до 6 кг, усилено тормозное устройство сварочной катушки, установлены дополнительные щитки для

предотвращения попадания окалины на витки проволоки, находящейся в барабане сварочной головки.

В связи с преимущественным выполнением сварочных работ при отрицательных температурах окружающего воздуха подогрев стыков выполняется двумя комплексами мощностью по 50 кВт каждый (по одному нагревательному поясу на каждую трубу) одновременно, а сварка стыков выполняется минимум двумя сварщиками без длительных перерывов и остановок.

Полученный опыт применения, а также современные темпы развития производства порошковых самозащитных проволок позволили сделать вывод о перспективности применения технологии АПС при выполнении кольцевых стыков труб различных типов металлоконструкций в условиях Арктики. А с учётом планируемых к строительству гидротехнических объектов в рамках расширения грузооборота по Северному морскому пути данная технология может быть адаптирована при изготовлении свайной продукции из перспективных высокопрочных сталей.

Выводы

Выполнен комплекс мероприятий по разработке технологии изготовления крупногабаритной свайной продукции (длина до 75 м, диаметр до 2520 мм, толщина стенки до 40 мм) на объекте строительства в условиях Арктики с применением автоматической сварки порошковой самозащитной проволокой.

С учётом результатов опытно-промышленного применения подтверждена возможность и установлена перспективность применения технологии АПС при выполнении кольцевых стыков труб различных типов металлоконструкций в условиях Арктики.

Установлена возможность реализации сборочно-сварочных участков (стапелей) в условиях экстремально низких температур с применением основного оборудования только отечественного производства.

Показана актуальность организации на территории РФ предприятий полного цикла изготовления самозащитной порошковой проволоки.

Соблюдение этических норм

Конфликт интересов: отсутствует.

Финансирование: авторы не получали поддержки от какой-либо организации в отношении представленной работы.

Финансовые интересы: у авторов нет финансовых интересов.

Нефинансовые интересы: отсутствуют.

Список литературы

1. Паспорт федерального проекта “Развитие Северного морского пути” (<https://mintrans.gov.ru/documents/8/12714?ysclid=lmok9xlwb544764384>).
2. Емельянов А. В., Ткачук М. А., Нестеров Г. В., Юшин А. А., Вятченников В. В. Развитие производства и поставки свай и шпунта трубчатого сварного для строительства морских портов в Арктической зоне // Гидротехническое строительство. 2023. № 8. С. 12 – 17.
3. Кожевников Д. Н., Исайкин И. А., Песков П. А., Вырлан В. И., Нестеров Г. В., Юшин А. А., Ткачук М. А. Импортзамещение антикоррозионного защитного покрытия свайной продукции гидротехнических сооружений, возводимых в условиях Арктики // Гидротехническое строительство. 2023. № 7. С. 20 – 25.
4. Блехерова Н. Г., Прохоров В. В., Пискорский П. В., Глушак Н. В. Автоматическая сварка самозащитной порошковой проволокой. Преимущества процесса // Территория Нефтегаз. 2012. № 6. С. 94 – 95.
5. Салыгин Д. А., Трофимов Д. В. Преимущество использования сварки самозащитной проволокой при строительстве газопровода // Сборник научных статей 2-й Международной научной Конференции студентов и молодых ученых. В 4-х томах. Том 4. С. 232 – 236.
6. Мазур А. А., Маковецкая О. К., Пустовойт С. В., Бровченко Н. С. Порошковые проволоки на мировом и региональных рынках сварочных материалов // “Автоматическая сварка”. 2015. № 5 – 6 (742). С. 68 – 74.
7. Михайлов К. А., Бахматов П. В., Старцев Е. А. Патентный анализ тенденций развития и прогнозирование рынка продукции самозащитных порошковых проволок // Сборник: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Международной научно-практической конференции. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 393 – 396.