

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-134168>

Оригинальное исследование



# Современные конструктивные и эксплуатационные материалы при создании строительно-дорожных машин

К.А. Дегтярева

Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В работе приведен анализ современного состояния использования конструктивных и эксплуатационных материалов при создании строительно-дорожных машин.

**Цель работы** состоит в выделении наиболее важных тенденций в получении современных конструктивных и эксплуатационных материалов при создании строительно-дорожных машин.

**Материалы и методы.** Предметом исследования выступают современные конструктивные и эксплуатационные материалы при создании строительно-дорожных машин. Новизна работы заключается в выделении основных современных тенденций модификации и технологических особенностей современных конструктивных и эксплуатационных материалов для строительно-дорожных машин с повышенными прочностными свойствами. Материалы исследования статьи включают основные научные и практические сведения по направлениям использования конструктивных и эксплуатационных материалов при создании строительно-дорожных машин. Методы исследования статьи включают систематизацию и обобщение данных по тематике современных конструктивных и эксплуатационных материалов при создании строительно-дорожных машин.

**Результаты.** Установлено, что ключевое отличие между сталями для конструктивных и эксплуатационных материалов в рамках создания узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин — параметры коррозионной стойкости, которую непосредственно определяют качественный и количественный химический состав. Среди главных задач современного развития промышленности выделено повышение технико-экономических показателей строительно-дорожных машин, их механизмов и инженерных частей, снижение их удельной металлоемкости, увеличение эксплуатационной надежности и долговечности.

**Заключение.** Показано, что в отличие от большинства низколегированных конструкционных сталей превращение аустенита в микролегированных ванадием и ниобием сталях класса прочности от С350 до С490 при непрерывном охлаждении по термическому циклу сварки происходит преимущественно в бейнитной области. В результате структурных преобразований, происходящих в сталях под влиянием термических циклов сварки, показатели статической прочности металла зоны термического воздействия сварных соединений возрастают, а пластические свойства уменьшаются. Существенное уменьшение показателей ударной вязкости в металле зоны термического воздействия сварных соединений микролегированных конструкционных сталей наблюдается при  $w_6/5$  5 °С/с. С увеличением скорости охлаждения ударная вязкость металла зоны термического воздействия стремительно растет и в некоторых сталях почти достигает уровня основного металла.

**Ключевые слова:** дорожно-строительные машины; конструктивные и эксплуатационные материалы; создание; выбор; оптимизация, улучшение.

## Как цитировать:

Дегтярева К.А. Современные конструктивные и эксплуатационные материалы при создании строительно-дорожных машин // Известия МГТУ «МАМИ». 2023. Т. 17, № 1. С. 43–50. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-134168>

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-134168>

Original study article

# Modern structural and operating materials in development of road-building machines

Karina A. Degtyareva

South Russian State Polytechnic University named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** The analysis of modern state of using structural and operating materials in development of road building machines is given in the article.

**AIMS:** To highlight the most important tendencies in obtaining modern structural and operating materials in development of road building machines.

**METHODS:** The study subject is modern structural and operating materials in development of road building machines. The novelty of the study lies in highlighting main modern tendencies of modification and technological features of modern structural and operating materials for road building machines with enhanced mechanical strength characteristics. The materials of the study include main scientific and practical information on ways of using structural and operating materials in development of road building machines. The study methods include classification and integration of the information on the topic of modern structural and operating materials in development of road building machines.

**RESULTS:** It is found that the key difference between steel types for structural and operating materials as a part of development of units, mechanisms and parts of road building machines is parameters of corrosion resistance, which is defined by qualitative and quantitative chemical composition directly. Among the main issues of modern industry development, improvement of cost-performance ratio of road building machines, their mechanisms and engineering parts by means of reducing specific metal content and increasing operational reliability and durability is outlined.

**CONCLUSIONS:** It is shown that, opposed to majority of low-alloyed structural steel types, change of austenite in steel types, micro-alloyed with vanadium and niobium and with strength class in the range from S350 to S490, with constant cooling according to the thermal cycle of welding performs mainly in bainitic range. As a result of structural changes, taking place in steel and influenced by thermal cycles of welding, the static strength indicators of the metal in zones of thermal impact of welding joints increase, whereas the indicators of plastic properties reduce. Sufficient reduce of impact viscosity of the metal in zones of thermal impact of welding joints of micro-alloyed structural steel types is observed at  $w_6/5$  5°C/s. With increasing of cooling speed, the impact viscosity of the metal in zones of thermal impact rapidly increases and it may achieve the level of the main metal in some steel types.

**Keywords:** road-building machines; structural and operating materials; creating; choice; optimization,; improvement.

## To cite this article:

Degtyareva KA. Modern structural and operating materials in development of road-building machines. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2023;17(1): 43–50. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-134168>

Received: 25.01.2023

Accepted: 01.04.2023

Published online: 13.04.2023

## ВВЕДЕНИЕ

Выбор технологических решений по созданию эффективных и долговечных строительно-дорожных машин зависит от значительной совокупности факторов. Одним из важнейших факторов эффективного создания строительно-дорожных машин является подбор оптимальных конструктивных и эксплуатационных материалов [1–4]. Одной из тенденций развития промышленного производства строительно-дорожных машин является все более активное использование наиболее эффективного комплекса современных конструктивных и эксплуатационных материалов при их создании. При разработке узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин в центре внимания, наряду с их конструктивными особенностями, также всегда находится исходный материал, который должен подвергаться обработке с использованием определенных технологий и с обеспечением заданных параметров изготавливаемого изделия. Характерной особенностью проектирования строительно-дорожных машин является параллельное принятие решений, как о применяемых материалах, так и о конструктивных параметрах строительно-дорожных машин, при этом необходимо учитывать технологии их изготовления. В связи с этим требуется создание интегрированного цикла, включающего как отдельные системы проектирования и производства узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин, так и актуальную базу данных конструктивных и эксплуатационных материалов для их создания [5, 6]. Исходя из проведенного анализа научно-технического развития в области разработки и использования конструктивных и эксплуатационных материалов в рамках создания узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин, задача разработки комплекса базовых технологических решений для создания эффективных узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин, а также новых подходов к использованию эффективных конструктивных и эксплуатационных материалов является актуальной.

**Цель статьи** – исследование современных конструктивных и эксплуатационных материалов при создании строительно-дорожных машин.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы исследования включают основные научные и практические сведения по направлениям использования конструктивных и эксплуатационных материалов при создании строительно-дорожных машин. Методы исследования включают систематизацию и обобщение данных по тематике современных конструктивных и эксплуатационных материалов при создании строительно-дорожных машин.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Сначала приведем на рис. 1 основные виды дорожно-строительной техники [7]. Важнейшими показателями качества конструкций представленных на рис. 1 строительно-дорожных машин являются надежность, сохраняемость и ремонтпригодность (см. рис. 2).



**Рис. 1.** Основные виды дорожно-строительной техники.  
**Fig. 1.** Main types of road building machines.

### Надежность

Общее свойство машины, обусловленное безотказностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью, и обеспечивающее выполнение заданных функций, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

### Сохраняемость

Свойство машины сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения и транспортирования. Работоспособность — состояние, при котором машина должна выполнять заданные функции в пределах, установленных для неё нормативно-технической документацией.

### Ремонтпригодность

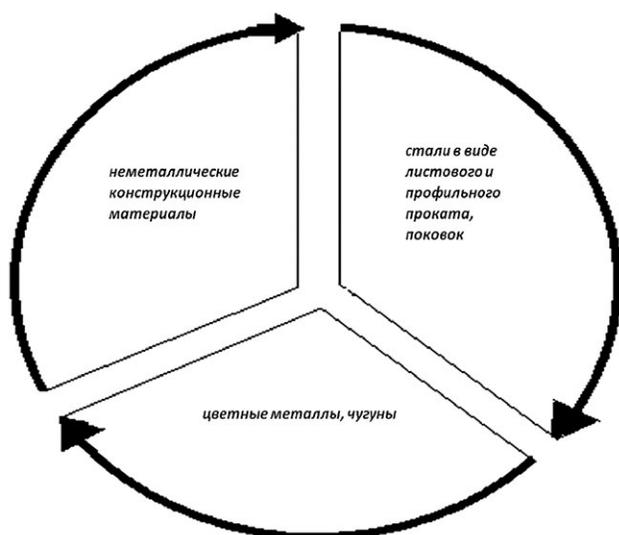
Свойство машины, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения её отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

**Рис. 2.** Важнейшие показатели качества конструкции строительно-дорожных машин [8].  
**Fig. 2.** The most important indicators of design quality of road building machines [8].

Для изготовления строительно-дорожных машин используют в основном материалы, представленные на рис. 3.

Ключевое отличие между такими сталями для конструктивных и эксплуатационных материалов в рамках создания узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин — параметры коррозионной стойкости, которую непосредственно определяют качественный и количественный химический состав. При этом: нержавеющие стали — легированные коррозионностойкие сплавы с максимальной долей углерода не более 1,2%. Свое высокое сопротивление атмосферной, язвенной, электрохимической и трибологической коррозии они приобретают в основном в результате повышенного содержания хрома (12–18%) и никеля (до 10%), хотя в них также часто присутствуют титан, молибден, ниобий, алюминий и др. Они относятся к дорогим сплавам, и при этом они отлично полируются, что позволяет их широко использовать в декоративных целях. Но по сравнению с углеродистыми сталями большинство из них имеют большую вязкость, плохо свариваются и склонны к хрупкому разрушению; углеродные марки сочетают в себе оптимальную прочность и пластичность. Они достаточно дешевы, но ржавеют под влиянием атмосферной влаги, электролита и других агрессивных веществ. За счет высокой обрабатываемости на их поверхности можно добиться высокой чистоты, но идеальной полированной поверхности нет. В пределах меры по минимизации коррозии их можно окрашивать и покрывать битумными мастиками, наносить защитные металлические покрытия гальваническим способом, горячим погружением и другими методами [10].

Благодаря ценовой доступности и универсальным характеристикам сталь углеродистая относится к широко



**Рис. 3.** Основные группы материалов для конструирования строительно-дорожных машин [9].

**Fig. 3.** Main groups of materials for designing road building machines [9].

используемым конструктивным и эксплуатационным материалам в рамках создания узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин. Она представляет особую ценность для конструктивных и эксплуатационных материалов в рамках создания узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин и, так как перечислить все варианты их использования практически нереально, назовем основные и наиболее типичные варианты — табл. 1.

Среди главных задач современного развития промышленности: повышение технико-экономических показателей строительно-дорожных машин, их механизмов и инженерных частей — выделяется задача снижения их удельной металлоемкости, увеличения эксплуатационной надежности и долговечности. В мировой практике это достигается за счет применения при изготовлении металлических сварных конструкций высокопрочных сталей с пределом текучести 350 МПа и более. В частности, низколегированные высокопрочные стали прочностных классов С355–С490 широко используются в строительно-дорожных машинах, их механизмах и инженерных частях, при изготовлении жестких несущих конструкций и т. п. Поскольку подавляющее большинство указанных металлических конструкций является сварными, к таким сталям существуют определенные требования, а именно: они должны хорошо свариваться, обеспечивать высокую пластичность и равнопрочность сварных соединений, а также иметь показатели ударной вязкости на уровне требований, регламентируемых государственными нормами, которые в последние годы претерпели определенные изменения. Прежде всего, эти изменения касаются показателей ударной вязкости и относительного сужения проката в Z-направлении.

Согласно современным требованиям стали, металл шва и зоны термического воздействия (ЗТВ) сварных соединений должны иметь ударную вязкость  $KCV-20 \geq 25$  Дж/см<sup>2</sup> для сталей с  $\sigma_T = 290-390$  МПа и  $KCV-40 \geq 25$  Дж/см<sup>2</sup> для сталей с  $\sigma_T \geq 390$  МПа и относительное сужение в Z-направлении ( $\Psi_Z$ ) не менее 35, 25 и 15% для первой, второй и третьей групп конструкций, соответственно.

В тех случаях, когда для конечного пользователя крайне важна коррозионная стойкость метизов, выбор очевиден и необходимо использовать специальные стали или материалы с покрытиями, рассчитанные на жесткие условия работы (высокая влажность, соляной туман, наличие в окружающей среде химических веществ и др.). В остальных случаях выбор «нержавейки» или углеродистой стали необходимо делать на основе технико-экономического сравнения.

До настоящего времени при изготовлении строительно-дорожных машин, их механизмов и инженерных частей на территории стран СНГ все еще широко используются низколегированные стали класса прочности С350–С390, такие как 09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД и другие, разработанные еще во времена СССР — табл. 2.

Все эти низколегированные конструкционные стали полностью удовлетворяют современным требованиям по статической прочности и пластическим свойствам сталей вдоль и поперек проката. У большинства из них ударная вязкость также находится на уровне этих требований — табл. 3.

**Таблица 1.** Примеры применения углеродистых сталей в конструктивных и эксплуатационных материалах в рамках создания узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин [11]

**Table 1.** Examples of using carbon steel in structural and operating materials as a part of development of units, mechanisms and parts of road building machines [11]

Марки	Назначение
Конструкционная сталь углеродистая обычного качества	
Ст0	Сварные конструкции неответственного назначения, настилы, шайбы, обшивки, ограждения
Ст1	Сварные конструкции, связывающая обшивка анкерные болты
Ст3, Ст4	Арматура, детали рекуператора, оси роликов конвейеров разливочных машин, шестерни, втулки, вкладыши, рычаги разных промышленных механизмов, элементы вагонных рам и мостовых ферм и другие несущие элементы сварных и несварных металлоконструкций
Ст5	Шестерни, валки, ролики рольгангов, соединение шпинделей, фитинги, шайбы, упоры, пальцы, ручки, тяги, крышки, цапфы
Ст6	Нажимные винты, валы, ролики, опорные валки, поршни, ломы, вкладыши
Конструкционная сталь углеродистая качественная	
16К, 18К	Детали и корпуса сосудов, работающих под давлением
15, 20	Плоские шаблоны, скобы, оси, рычаги, элементы трубных соединений, черви, фланцы
25	Корпуса и обшивка аппаратуры, фланцы запорной арматуры, детали крепления, штифты, цилиндры
30	Траверсы, рычаги, диски, шпиндели, хомуты, кулачки, балансиры, пальцы, прессы
50	Шестерни, валки прокатных станков, штоки, ходовые винты, бандажки вагонные, корпуса форсунок
60	Вагоны колеса, валки листовых состояний, диски сцепления, установочные и опорные шайбы, проволока для тросов
75	Колеса грузоподъемных механизмов, замки сцепления, пружины клапанов автомобильных двигателей

**Таблица 2.** Требования к химическому составу сталей повышенной и высокой прочности для строительных конструкций

**Table 2.** Demands to chemical composition of high-strength steel types for engineering structures

Марка стали	Массовая часть элементов, мас. %										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Al	Cu	S	P
09Г2С	<0,12	0,5–0,8	1,3–1,7	<0,3	<0,3	–	–	–	<0,3	<0,035	<0,03
15ХСНД	0,12–0,18	0,4–0,7	0,4–0,7	0,6–0,9	0,3–0,6	–	–	–	0,2–0,4	<0,035	<0,03
17Г1С	0,15–0,20	0,4–0,6	1,15–1,6	<0,3	<0,3	–	–	–	<0,3	<0,035	<0,03
10Г2С1	<0,12	0,8–1,1	1,3–1,65	<0,3	<0,3	–	–	–	<0,3	<0,035	<0,03
10ХСНД	<0,12	0,8–1,1	0,5–0,8	0,6–0,9	0,5–0,8	–	–	–	0,4–0,6	<0,035	<0,03

**Таблица 3.** Требования к механическим свойствам сталей повышенной и высокой прочности для строительно-дорожных машин (не меньше)

**Table 3.** Demands to mechanical properties of high-strength steel types for road building machines (not less than)

Марка стали	$\sigma_r$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_5$ , %	КСУ-40, Дж/см <sup>2</sup>
09Г2С	350	500	21	34
15ХСНД	350	500	21	29
17Г1С	350	500	22	29
10Г2С1	390	520	19	29
10ХСНД	390	530...660	19	29

Но для сохранения требуемого уровня показателей KCV металла ЗТВ скорость охлаждения сварных соединений в интервале температур 600–500 °С ( $w_6/5$ ) должна находиться в диапазоне 15–20 °С/с. Это требует существенного ограничения режимов сварки, что усложняет технологический процесс и делает его малопродуктивным. Кроме того,  $\Psi_z$  у таких сталей не превышает 15%, что лимитирует их использование в сварных элементах, работающих в направлении толщины проката.

Начиная с 1990-х годов в промышленности строительно-дорожных машин, их механизмов и инженерных частей в результате значительных экономических, хозяйственных и технических преобразований произошли определенные изменения. Массовый переход компаний на экономическую самостоятельность побуждал к созданию сталей, что было более экономически выгодно для конкретных хозяйственных условий выпуска узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин. Интенсивная интеграция отечественной металлургии в мировую экономику вызвала необходимость пересмотра стандартов оценки качества сталей. Прежде всего, это касается оценки их ударной вязкости. Кроме общепринятого в отечественной промышленности подхода по определению ударной вязкости, по результатам экзамена образцов с U-образным надрезом начали использовать образцы, имеющие V-образный надрез. Их применение при испытаниях позволяет более точно оценить способность сталей сопротивляться разрушению. В то же время такой подход выявил некоторые изъяны отечественных сталей.

В связи с этим возникла потребность в модернизации существующих и создании новых сталей, которые позволили бы удовлетворить постоянно растущие требования производства. Как результат, в последние годы отечественными металлургическими комбинатами было освоено производство новых сталей повышенной и высокой прочности, которые производятся по отечественным и международным стандартам и полностью отвечают требованиям Евроном. Высокую прочность, пластичность и ударную вязкость современные высокопрочные конструкционные стали приобретают за счет формирования в металле мелкозернистой структуры определенного состава. Это достигается как за счет легирования сталей (как правило, они содержат марганец, ограниченное до 0,5% количество кремния, до 0,15% углерода и до 0,012% азота и микролегированные отдельно или в сочетании с ванадием, алюминием, ниобием, церием), так и в результате контролируемой прокатки, или специальной термической обработки стального проката.

В целом выполненные исследования показали, что новые микролегированные конструкционные стали классов прочности С350–С490 по механическим

свойствам превосходят низколегированные конструкционные стали классов прочности С350–С390, которые были разработаны в СССР: являются более технологичными и позволяют обеспечить комплекс свойств сварных соединений на уровне современных мировых требований к конструктивным и эксплуатационным материалам в рамках создания узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин.

Все более широкое использование новых конструкционных высокопрочных сталей находят в Российской Федерации и при строительстве, и при капитальном ремонте конструктивных и эксплуатационных материалов узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, конструирование узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин представляет собой очень сложную задачу с точки зрения создания новых конструктивных и эксплуатационных материалов, так как она требует соответствующей технологической и расчетной информации в отношении как самих разрабатываемых изделий, оборудования для их изготовления, а также различных технологических параметров их переработки. При этом практически всегда высокое качество и долговечность узлов, механизмов и деталей строительно-дорожных машин обусловлено комплексом правильного выбора материала и подбором наиболее эффективного метода их переработки.

Среди главных задач современного развития промышленности — повышение технико-экономических показателей строительно-дорожных машин, их механизмов и инженерных частей является снижения их удельной металлоемкости, увеличения эксплуатационной надежности и долговечности. В мировой практике это достигается за счет применения при изготовлении металлических сварных конструкций высокопрочных сталей с пределом текучести 350 МПа и более.

В отличие от большинства низколегированных конструкционных сталей, превращение аустенита в микролегированных ванадием и ниобием сталях класса прочности от С350 до С490 при непрерывном охлаждении по термическому циклу сварки происходит преимущественно в бейнитной области. В результате структурных преобразований, происходящих в сталях под влиянием термических циклов сварки, показатели статической прочности металла зоны термического воздействия сварных соединений возрастают, а пластические свойства уменьшаются. Существенное уменьшение показателей ударной вязкости в металле зоны термического воздействия сварных соединений микролегированных

конструкционных сталей наблюдается при  $w_6/5$  5 °С/с. С увеличением скорости охлаждения ударная вязкость металла зоны термического воздействия стремительно растет и в некоторых сталях почти достигает уровня основного металла.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Вклад автора.** Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (автор внес существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочел и одобрил финальную версию перед публикацией).

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмара Л.А. Научное сопровождение строительных и дорожных машин: исследование, расчет, создание, выбор, использование // *Вісник ПДАБА*. 2015. № 7–8(209). С. 48–60.
2. Хмара Л.А. Применение аккумуляторов потенциальной энергии в строительных машинах (на примере одноковшового экскаватора) // *Строительство. Материаловедение. Машиностроение: сб. на-уч. тр. Днепропетровск: ПГАСА, 2005. Вып. 33. С. 17–33.*
3. Глаголева С.В., Шорникова Т.П. Современная дорожно-строительная техника и ее техническое обслуживание // *Вестник науки*. 2020. № 9(30). С. 66–74.
4. Хмара Л.А. Научное сопровождение строительных и дорожных машин: исследование, расчет, создание, выбор, использование // *Вісник ПДАБА*. 2010. № 7(148). С. 53–63.
5. Вавилов А.В. О необходимости создания системы технологических машин строительного комплекса // *Наука и техника*. 2014. № 5. С. 82–85.
6. Соколов И.А. Обоснование эффективности использования многоцелевых строительных машин при производ-

**Источник финансирования.** Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Author's contribution.** The author made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agrees to be accountable for all aspects of the work.

**Competing interests.** The author declares no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

- стве земляных работ // *Вісник ПДАБА*. 2015. № 11(212). С. 61–66.
7. Белецкий Б.Ф., Булгакова И.Г. Строительные машины и оборудование. Санкт-Петербург: Лань, 2012.
8. Ragu Nathan S., Balasubramanian V., Malarvizhi S., et al. Effect of welding processes on mechanical and microstructural characteristics of high strength low alloy naval grade steel joints // *Defence Technology*. 2015. № 11. P. 308–317.
9. Show B.K., Veerababu R., Balamuralikrishnan R., et al. Effect of vanadium and titanium modification on the microstructure and mechanical properties of microalloyed HSLA steel // *Mater. Sci. Eng. A*. 2010. № 527. P. 1595–1604. doi: 10.1016/j.dt.2015.06.001
10. Григоренко Г.М., Костин В.А., Орловский В.Ю. Современные возможности моделирования превращений аустенита в сварных швах низколегированных сталей // *Автоматическая сварка*. 2008. № 3. 31–34.
11. Саржевский В.А., Сазонов В.Я. Установка для имитации термических циклов сварки на базе машины МСР75 // *Автоматическая сварка*. 1981. № 5. С. 69–70.

## REFERENCES

1. Khmara LA. Scientific support of construction and road machines: research, calculation, creation, selection, use. *Visnik PDABA*. 2015;7–8(209):48–60. (in Russ).
2. Khmara LA. The use of potential energy batteries in construction machines (on the example of a single-bucket excavator). In: *Construction. Materials Science. Engineering: sci. coll.* Dnepropetrovsk: PGASA; 2005;33:17–33. (in Russ).
3. Glagoleva SV, Shornikova TP. Modern road construction equipment and its maintenance. *Vestnik nauki*. 2020;9(30):66–74. (in Russ).
4. Khmara LA. Scientific support of construction and road machines: research, calculation, creation, selection, use. *Visnik PDABA*. 2010;7(148):53–63. (in Russ).
5. Vavilov AV. On the need to create a system of technological machines of the construction complex. *Nauka i tekhnika*. 2014;5:82–85. (in Russ).
6. Sokolov IA. Substantiation of the effectiveness of the use of multi-purpose construction machines in the production of earthworks. *Visnik PDABA*. 2015;11(212):61–66. (in Russ).
7. Beletsky BF, Bulgakova IG. *Construction machines and equipment*. Saint Petersburg: Lan'; 2012. (in Russ).
8. Ragu Nathan S, Balasubramanian V, Malarvizhi S, et al. Effect of welding processes on mechanical and microstructural characteristics of high strength low alloy naval grade steel joints. *Def. Tech*. 2015;11:308–317.

9. Show BK, Veerababu R, Balamuralikrishnan R, et al. Effect of vanadium and titanium modification on the microstructure and mechanical properties of microalloyed HSLA steel. *Mater. Sci. Eng. A*. 2010;527:1595–1604. doi: 10.1016/j.dt.2015.06.001
10. Grigorenko GM, Kostin VA, Orlovsky VYu. Modern Possibilities of Modeling Austenite Transformations in Welds

- of Low-Alloy Steels. *Avtomaticeskaya svarka*. 2008;3:31–34. (in Russ).
11. Sarzhevsky VA, Sazonov VYa. Installation for simulation of thermal cycles of welding based on MCP75 machine. *Avtomaticeskaya svarka*. 1981;5:69–70. (in Russ).

## ОБ АВТОРЕ

### **Дегтярева Карина Александровна,**

канд. техн. наук,  
доцент кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы»;  
адрес: Российская Федерация, 346428, Ростовская область, Новочеркасск, ул. Просвещения, д. 132;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1314-3516>;  
eLibrary SPIN: 2183-3358;  
e-mail: karina.degtyareva.2014@mail.ru

## AUTHOR'S INFO

### **Karina A. Degtyareva,**

Cand. Sci. (Tech.),  
Associate Professor of the Cars and Transport and Technological Complexes Department;  
address: 132 Prosvecheniya street, 346428 Novocherkassk, Russian Federation;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1314-3516>;  
eLibrary SPIN: 2183-3358;  
e-mail: karina.degtyareva.2014@mail.ru