DOI: 10.34220/2311-8873-2026-107-121

УДК 656.135.073

UDC 656.135.073

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДОСТАВКИ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Трофимов Александр Алексеевич,
магистрант кафедры автомобильных перевозок, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград.

Ширяев Сергей Александрович,
к.т.н., доцент кафедры автомобильных перевозок, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград.

Раюшкина Алевтина Анатольевна,
к.т.н., доцент кафедры автомобильных перевозок, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград.

Ковалев Александр Михайлович,
к.т.н., доцент кафедры автомобильных перевозок, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград.

✉[1] **Зеликов Владимир Анатольевич,**
д.т.н., профессор кафедры организации перевозок и безопасности движения, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

Кадырметов Анвар Минирович,
д.т.н., профессор кафедры машиностроительных технологий, Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж.

DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR THE DELIVERY OF LARGE-DIAMETER PIPES BY ROAD FOR THE CONSTRUCTION OF MAIN GAS PIPELINES

Trofimov Alexander Alekseevich,
master's of the department of automobile transportation, Volgograd state technical university, Volgograd.

Shiryaev Sergey Aleksandrovich,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of automobile transportation, Volgograd state technical university, Volgograd.

Rayushkina Alevtina Anatolyevna,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of automobile transportation, Volgograd state technical university, Volgograd.

Kovalev Alexander Mikhailovich,
candidate of technical sciences, associate professor of the department of automobile transportation, Volgograd state technical university, Volgograd.

✉[1] **Zelikov Vladimir Anatolyevich,**
doctor of technical sciences, professor of the department of transportation organization and traffic safety, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Kadyrmetov Anvar Minirovich,
doctor of technical sciences, professor of the department of mechanical engineering technologies, Voronezh state forestry university named after G.F. Morozov, Voronezh.

Аннотация. Исследованы вопросы проектирования технологических процессов доставки труб большого диаметра автомобильным транспортом для строительства магистрального газопровода «Белогорск-Хабаровск». Проведен выбор подвижного состава (магистральные тягачи, трубовозы-вездеходы) и погрузочно-разгрузочных механизмов для двух этапов перевозки: от ж/д станции до базисного склада и от склада до места строительства магистрального газопровода. Разработаны технологические схемы доставки, определены потребное количество техники и себестоимость перемещения груза.

Ключевые слова: ТРУБЫ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА (ТБД), МАГИСТРАЛЬНЫЙ ГАЗОПРОВОД (МГП), ТРУБОВОЗ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПЕРЕВОЗКИ, СЕБЕСТОИМОСТЬ.

Annotation. The design of technological processes for the delivery of large-diameter pipes by road for the construction of the Belogorsk-Khabarovsk main gas pipeline was studied. Rolling stock (mainline tractors, all-terrain pipe carriers) and loading and unloading equipment were selected for two stages of transportation: from the railway station to the base warehouse and from the warehouse to the main gas pipeline construction site. Delivery flow charts were developed, the required equipment quantity and the cost of cargo transportation were determined.

Keywords: LARGE DIAMETER PIPES (LDP), MAIN GAS PIPELINE (MGP), PIPE CARRIER, TRANSPORTATION PROCESS, COST.

[1] *Автор для ведения переписки*

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

В современной экономике Российской Федерации трубная промышленность занимает одно из ключевых мест, обеспечивая потребности топливно-энергетического комплекса в продукции высокого передела. Особое значение в структуре трубного производства занимают трубы большого диаметра (ТБД), являющиеся основным конструкционным элементом при строительстве магистральных газопроводов. Эффективность и сроки реализации таких инфраструктурных проектов во многом определяются качеством организации транспортного обеспечения доставки ТБД от заводов-изготовителей или железнодорожных станций до мест укладки в трассу.

Вместе с тем, на современном этапе трубная отрасль России сталкивается с рядом системных проблем. Одной из хронических проблем является значительный профицит производственных мощностей, особенно в сегменте ТБД. По данным отраслевых источников, средняя загрузка мощностей по производству труб большого диаметра в 2024 году составила 34 %, что свидетельствует о существенном дисбалансе между производственными возможностями и реальным спросом. При этом на период 2025-2027 гг. запланировано введение новых мощностей, что создаёт риск неокупаемости инвестиционных проектов и усугубляет конкурентную борьбу между производителями за ограниченное количество заказов.

В этих условиях особую актуальность приобретает не только производственная, но и логистическая составляющая, влияние которой, в качестве примера, рассмотрим применительно к строительству магистрального газопровода «Белогорск-Хабаровск». Производство работ на этом трубопроводе требует доставки значительного объёма ТБД на расстояние, включающее два этапа: первый этап – от железнодорожной станции «Биробиджан-1» до базисного склада (20 км), второй этап – от базисного склада до места строительства газопровода (30 км). При этом дорожные условия на этапах существенно различаются: первый этап проходит по дорогам с твёрдым покрытием, второй – по бездорожью, что предъявляет различные требования к подвижному составу.

Анализ литературных источников [1-13] и практического опыта показывает, что комплексный подход к проектированию автотранспортных систем доставки ТБД для строительства магистральных газопроводов в настоящее время отсутствует. Традиционно задачи выбора подвижного состава, определения маршрутов, организации погрузочно-разгрузочных работ и экономической оценки решаются раздельно, без учёта взаимного влияния этих факторов на итоговую себестоимость перевозки и сроки выполнения работ. Особенно остро эта проблема проявляется при организации перевозок в труднодоступных регионах, где необходимо комбинировать различные типы специализированного подвижного состава (магистральные автопоезда для дорог с твёрдым покрытием и трубовозы-вездеходы для бездорожья). Кроме того, в существующих методиках недостаточно внимания уделяется интеграции этапов доставки: от железнодорожного узла до промежуточного склада и от склада до места строительства. Отсутствие единой системы планирования и мониторинга приводит к простоям, неполной загрузке техники, дополнительным затратам на хранение и перевалку груза.

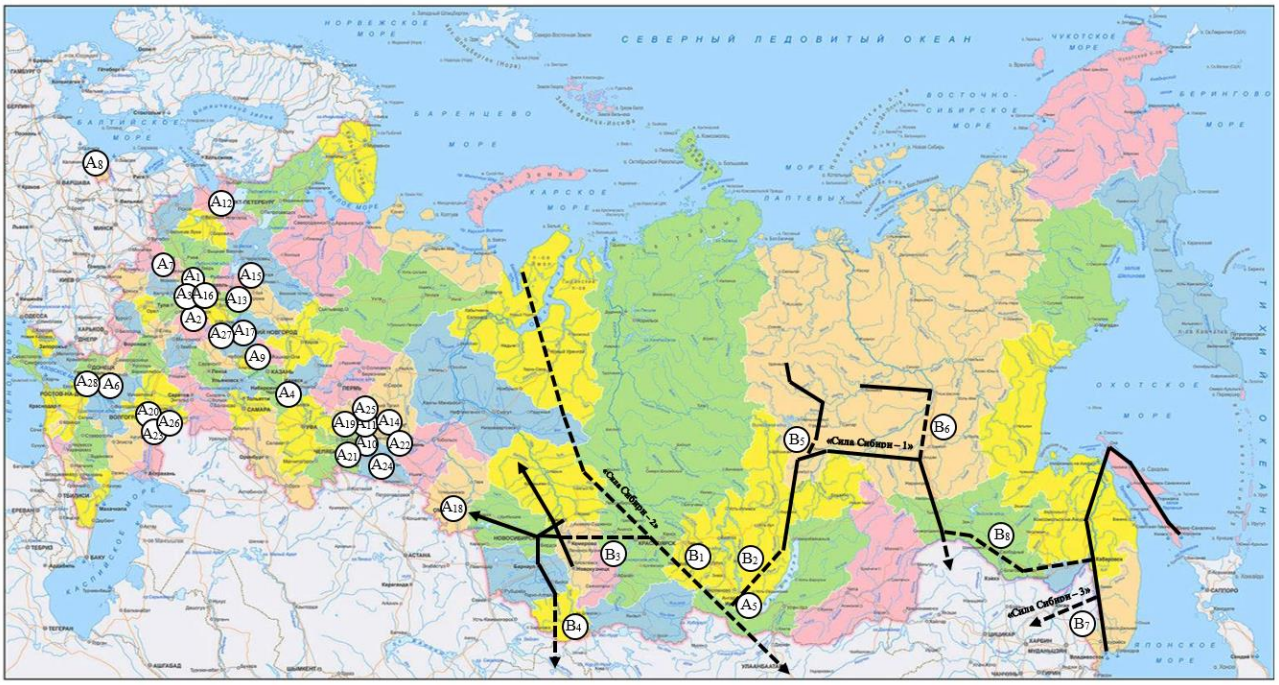
Таким образом, разработка и экономическое обоснование эффективной логистической модели доставки труб большого диаметра для строительства магистрального газопровода «Белогорск-Хабаровск» с учётом особенностей каждого этапа перевозки, дорожных условий и доступных типов подвижного состава представляет собой актуальную научно-практическую задачу.

Цель работы – разработать оптимальные технологические процессы перевозки труб большого диаметра для строительства магистрального газопровода «Белогорск-Хабаровск» с обоснованием выбора подвижного состава, погрузочно-разгрузочных механизмов и расчётом себестоимости перемещения груза.

Полученные результаты могут быть полезны строительным копаниям, логистическим операторам и нефтегазовым компаниям, реализующим крупные инфраструктурные проекты в удаленных и слаборазвитых территориях с протяженными транспортными плечами. Информация будет интересна специалистам в области управления цепями поставок, транспортной логистики и проектирования автотранспортных систем для трубной промышленности.

2 Материалы и методы

Для оптимизации логистических процессов при строительстве магистрального газопровода «Белогорск-Хабаровск» предложена методика расчёта издержек на доставку стальных прямошовных труб большого диаметра (ТБД) от железнодорожной станции «Биробиджан-1» до места прокладки газопровода. Исходной информацией служат данные о рекордном подводном переходе через реку Тунгуску протяжённостью 1657 м, выполненном с применением горизонтально-направленного бурения щитом (ГНБЩ), а также о темпах строительства всего участка магистрального газопровода (МГП) «Белогорск-Хабаровск» длиной 828 км, который будет построен к 2027 году [1]. Расположение трубных заводов для строительства газопроводов представлено на рис. 1:



A_1 – Загорский трубный завод (ЗТЗ); A_2 – Рязанский трубный завод (РТЗ); A_3 – Королевский трубный завод (КТЗ); A_4 – Набережночелнинский трубный завод «ТЭМ-ПО» (НТЗ «ТЭМ-ПО»); A_5 – Иркутский трубный завод (ИТЗ); A_6 – Исаевский машиностроительный завод (ИМЗ); A_7 – СМИТ-Ярцево; A_8 – Балтинокс (Baltinox); A_9 – Чебоксарский трубный завод (ЧТЗ); A_{10} – Синарский трубный завод (СинТЗ); A_{11} – Первоуральский новотрубный завод (ПНТЗ); A_{12} – Ижорский трубный завод (ИТЗ); A_{13} – Волгореченский трубный завод (Газпромтрубинвест); A_{14} – Уральский трубный завод (Уралтрубпром); A_{15} – Завод полимерных труб «ИММИД»; A_{16} – Климовский трубный завод (КТЗ); A_{17} – Борский трубный завод (БТЗ); A_{18} – Омский завод трубной изоляции (ОЗТИ); A_{19} – Северский трубный завод (СТЗ); A_{20} – Волжский трубный завод (ВТЗ); A_{21} – Челябинский трубопрокатный завод (ЧТПЗ); A_{22} – Сибпромкомплект; A_{23} – Научно-производственное объединение «Ахтуба» (НПО «Ахтуба»); A_{24} – Курганский завод энергетических технологий (КЗЭТ); A_{25} – Нижнетагильский трубный завод Металлинвест (НТТЗМ); A_{26} – Производственное объединение Нижне-Волжский трубный завод (ПО «НВТЗ»); A_{27} – Выксунский металлургический завод ОМК; A_{28} – «Таганрогский металлургический завод» («ТАГМЕТ»); B_1 – МГП «Сила Сибири – 2»; B_2 – Соединение МГП «Сила Сибири – 1» с МГП «Сила Сибири – 2»; B_3 – Соединение МГП «Сила Сибири – 2» в единую газотранспортную систему РФ; B_4 – МГП «Алтай»; B_5 – Соединение Северо-Нелбинского газового месторождения **с** МГП «Сила Сибири – 1»; B_6 – Соединение Средневилюйского газового месторождения с МГП «Сила Сибири – 1»; B_7 – МГП «Сила Сибири – 3»; B_8 – Соединение МГП «Сила Сибири – 1» с МГП «Сила Сибири – 3»

Рисунок 1 – Расположение трубных заводов, магистральных и перспективных газопроводов, идущих в КНР [составлено авторами по данным офиц. сайтов заводов]

Поставки труб большого диаметра для ПАО «Газпром» для строительства магистральных газопроводов в основном осуществляют следующие заводы: Выксунский металлургический завод входит в Объединённую металлургическую компанию (ОМК), Ижорский трубный завод (входит в ПАО «Северсталь»), Волжский трубный завод (ВТЗ) входит в состав ПАО «Трубная металлургическая компания» (ТМК), Северский трубный завод (СТЗ) входит в состав ПАО «Трубная металлургическая компания» (ТМК), Челябинский трубопрокатный завод (ЧТПЗ) входит в состав ПАО «Трубная металлургическая компания» (ТМК), а также Загорский трубный завод [13]. Рассмотрим информацию о данных заводах для осуществления перевозок ТБД в табл. 1.

На основе опубликованных сведений [1] о том, что по состоянию на конец октября 2025 года уложено более 600 км трассы при старте строительства в марте 2024 года (приблизительно 600 дней), определена средняя скорость строительства – 1 км/сутки. Отсюда суточная потребность в трубах составила:

$$Q_c = \frac{1000}{12} \approx 84 \text{ трубы/сутки},$$

$$Q_c = 84 \times 12{,}336 = 1036{,}224 \text{ т/сутки},$$

где 12,336 т – масса одной трубы диаметром 1420 мм, длиной 12 м, толщиной стенки 26,3 мм из стали класса прочности К70 «Трубы нового поколения класса прочности К70». Трубы такой высокой категории прочности на сегодняшний день – это абсолютно новый продукт на российском и мировом рынке. Применение труб категории прочности К70 позволяет сделать возможным и экономически эффективным строительство магистральных трубопроводов с рабочим давлением до 14,7 МПа. Толщина стенки до 26,3; 31,6; 38,1 мм [12].

Для расчёта логистических издержек использован граф кратчайших расстояний от производителей труб до места строительства и карта автомобильных и железных дорог рассматриваемого района (рис. 1). В качестве базового принят маршрут: ж/д станция «Биробиджан-1» – базисный склад (20 км) – место прокладки газопровода (30 км). Техническая скорость на первом участке принята 50 км/ч, на втором (бездорожье или грунтовая дорога) – 20 км/ч. Коэффициент использования пробега $\beta_e = 0{,}5$, продолжительность рабочей смены – $T_н = 10$ ч.

Таблица 1 – Информация о заводах по производству труб для организации грузовых перевозок [составлено авторами по данным офиц. сайтов заводов]

№	Присвоенный шифр завода	Название	Адрес	Год ввода в эксплуатацию	Номенклатура основного производства	Предполагаемая мощность завода по производству труб
1	A_1	Загорский трубный завод (ЗТЗ)	Московская область г. Пересвет	2015 г.	Электросварные трубы большого диаметра	Более 500 тыс. тонн
2	A_{12}	Ижорский трубный завод (ИТЗ)	г. Санкт-Петербург	2006 г.	Электросварные трубы	600 тыс. тонн
3	A_{19}	Северский трубный завод (СТЗ)	Свердловская область г. Полевской	1739 г.	Горячекатаные, электросварные стальные трубы	Более 600 тыс. тонн
4	A_{20}	Волжский трубный завод (ВТЗ)	Волгоградская область г. Волжский	1970 г.	Стальные трубы, стеклосмазки и эмали	Более 1700 тыс. тонн
5	A_{21}	Челябинский трубопрокатный завод (ЧТПЗ)	Челябинская область г. Челябинск	1942 г.	Стальные трубы	2400 тыс. тонн
6	A_{27}	Выксунский металлургический завод ОМК (ВМЗ)	Нижегородская область, г. Выкса	1757 г.	Трубы большого диаметра и железнодорожные колёса	Более 2000 тыс. тонн

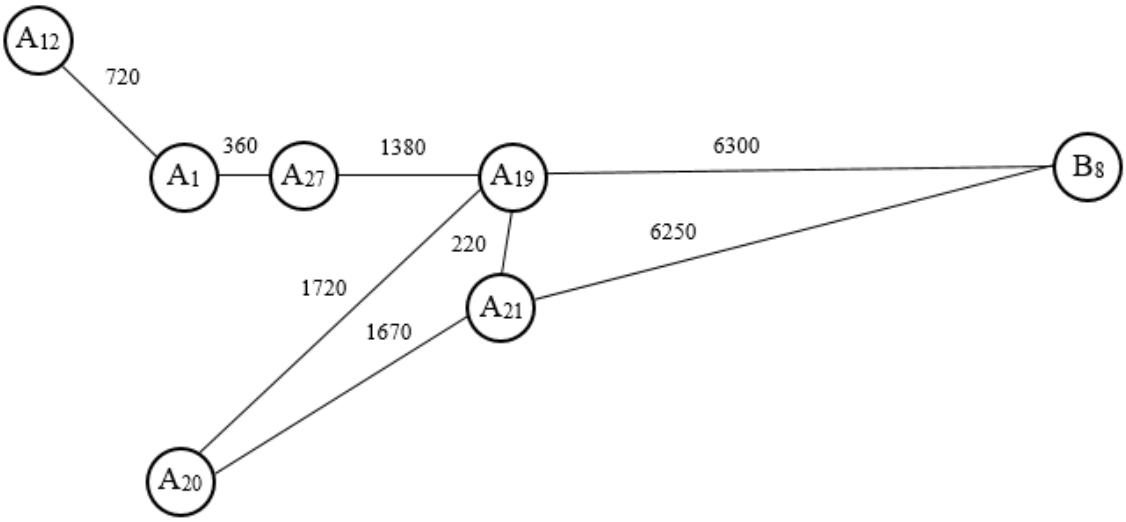


Рисунок 2 – Граф кратчайших расстояний от производителей труб до места строительства газопровода

Выбор подвижного состава (табл. 2, 3) выполнен в два этапа: для доставки от ж/д станции до базисного склада (магистральные автопоезда) и от склада до трассы (трубовозы и трубоплетевозы с колёсной формулой 6×6). Сравнение проведено по трём вариантам тягачей (КамАЗ 54901-70014-СА, Sitrak C7H MAX, Volvo FH 500) с полуприцепом-тяжеловозом УЗСТ ППТ-9177-044В3-40 грузоподъёмностью до 36 т, а также по трём вариантам вездеходных автопоездов (КамАЗ-43118, Iveco-AMT 633900, Урал-5557) с прицепами-роспусками.

Таблица 2 – Сравнение выбранных магистральных автопоездов

Показатель	1) КамАЗ 54901-70014-СА + Полуприцеп тяжеловоз высокорамный марки УЗСТ ППТ-9177-044В3-40	2) Sitrak C7H MAX, 2024 + Полуприцеп тяжеловоз высокорамный марки УЗСТ ППТ-9177-044В3-40	3) Volvo FH 500, 2025 + Полуприцеп тяжеловоз высокорамный марки УЗСТ ППТ-9177-044В3-40
Колесная формула	4x2	4x2	4x2
Себестоимость использования подвижного состава, р./ч.	2200	2000	2700
Снаряженная масса автопоезда, кг.	19150	17220	18472
Полная масса автопоезда, кг.	40000	40000	40000
Грузоподъемность, кг.	20850	22780	21528
Максимально возможное количество перевозимых ТБД, ед.	1	1	1

Расчёты часовой производительности автотранспортных средств (АТС) были выполнены для 6 автопоездов по формуле [3]:

$$W_{\text{а}} = \frac{q_{\text{н}} \times \gamma_{\text{с}} \times \beta_{\text{е}} \times \vartheta_{\text{т}}}{l_{\text{ег}} + t_{\text{пр}} \times \beta_{\text{е}} \times \vartheta_{\text{т}}}, \quad (1)$$

где $q_{\text{н}}$– грузоподъёмность, т; $\gamma_{\text{с}}$– статический коэффициент использования грузоподъёмности; $l_{\text{ег}}$ – длина ездки с грузом, км; $t_{\text{пр}}$ – время простоя под погрузкой-разгрузкой, ч; $\beta_{\text{е}}$ – коэффициент использования пробега; $\vartheta_{\text{т}}$ – техническая скорость автомобиля.

Пример расчета производительности для автомобиля КамАЗ 54901-70014-СА с полуприцепом тяжеловозом высокорамным марки УЗСТ ППТ-9177-044В3-40 при погрузке 1 ТБД 12 метров приведен ниже. Значения производительности для других автомобилей сведены в табл. 4.

$$W_{\text{а}} = \frac{20{,}85 \times 0{,}592 \times 0{,}5 \times 50}{20 + 0{,}35 \times 0{,}5 \times 50} = 10{,}89\ \frac{\text{т}}{\text{ч}}.$$

Таблица 3 – Сравнение выбранных автопоездов-вездеходов

Показатель	1) Трубоплетевоз КамАЗ-43118 + прицеп роспуск УСТ 9465 сп.м.	2) Трубовоз Iveco-AMT 633900 + прицеп роспуск ПРТ 20-24 BPW УСТ 9465	3) Трубоплетевоз Урал-5557 + прицеп роспуск ПРТ 10-23-01 УСТ 9465
Колесная формула	6х6	6х6	6х6
Себестоимость использования подвижного состава, р./ч.	3200	4500	3000
Мощность двигателя, л.с.	300	450	228
Снаряженная масса автопоезда	14200	18680	13975
Полная масса автопоезда, кг.	37190	59000	37300
Грузоподъемность, кг	21700	40320	21775
Максимально возможное количество перевозимых ТБД, ед.	1	2	1

Таблица 4 – Результаты расчетов производительностей автомобилей

№	Модель автомобиля	Количество перевозимых ТБД за одну ездку, ед.	Производительность автомобиля, т/ч.
1	КамАЗ 54901-70014-СА + Полуприцеп тяжеловоз	1	10,89
2	Sitrak C7H MAX, 2024 + Полуприцеп тяжеловоз	1	10,89
3	Volvo FH 500, 2025 + Полуприцеп тяжеловоз	1	10,89
4	Трубоплетевоз КамАЗ-43118 + прицеп роспуск	1	3,69
5	Трубовоз Iveco-AMT 633900 + прицеп роспуск	2	6,67
6	Трубоплетевоз Урал-5557 + прицеп роспуск	1	3,69

Минимальное потребное количество АТС определено по формуле [3]:

$$\text{А}_{\text{х}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{W_a \times T_{\text{Н}}}, \qquad (2)$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточная потребность в трубах; W_a – часовая производительность АТС; $T_{\text{Н}}$ – продолжительность рабочей смены.

Пример расчета производительности для автомобиля КамАЗ 54901-70014-СА с полуприцепом тяжеловозом высокорамным марки УЗСТ ППТ-9177-044В3-40 при погрузке 1 ТБД 12 метров приведен ниже. Значения минимального потребного количества АТС для других автомобилей сведены в табл. 5.

$$A_x = \frac{1036,224}{10,894 \times 10} = 9,512 = 10 \text{ ед.}$$

Для погрузочно-разгрузочных работ (ПРР) рассмотрены автокраны Галичанин КС-55713-1В-4 (25 т), XCMG QY30K5 (30 т) и гусеничный трубоукладчик Sunward SWPG70 (70 т).

Эксплуатационная производительность механизма вычислялась по формуле [3]:

$$W_э = \frac{3600 \times m_{гр} \times K_{исп}}{t_ц}, \quad (3)$$

где $m_{гр}$ – масса одного транспортного пакета (трубы), т; $K_{исп}$= 0,7 – коэффициент использования механизма; $t_ц$ – продолжительность рабочего цикла, с.

Таблица 5 – Результаты расчетов минимального потребного количества АТС

№	Модель автомобиля	Количество перевозимых ТБД за одну ездку, ед.	Минимальное потребное количество АТ, ед.
1	КамАЗ 54901-70014-СА + Полуприцеп тяжеловоз	1	10
2	Sitrak C7H MAX, 2024 + Полуприцеп тяжеловоз	1	10
3	Volvo FH 500, 2025 + Полуприцеп тяжеловоз	1	10
4	Трубоплетевоз КамАЗ-43118 + прицеп роспуск	1	29
5	Трубовоз Iveco-AMT 633900 + прицеп роспуск	2	16
6	Трубоплетевоз Урал-5557 + прицеп роспуск	1	29

Таблица 6 – Сравнение выбранных погрузочно-разгрузочных средств (ПРС)

Показатель	1) Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	2) Автокран XCMG QY30K5	3) Гусеничный трубоукладчик Sunward SWPG70
Грузоподъемность, т.	25	30	70
Продолжительность рабочего цикла, с	270	240	300
Арендная ставка с машинистом, р./ч.	3500	4000	5000

Пример расчета производительности для автокрана Галичанин КС-55713-1В-4 приведен ниже. Значения эксплуатационной производительности механизма для других ПРС сведены в табл. 7.

$$W_э = \frac{3600 \times 12,336 \times 0,7}{270} = 115,14 \text{ т/ч.}$$

Таблица 7 – Результаты расчётов эксплуатационной производительности механизма

№	Модель погрузочно-разгрузочного средства	Эксплуатационная производительность механизма, т/ч.
1	Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	115,14
2	Автокран XCMG QY30K5	129,52
3	Гусеничный трубоукладчик Sunward SWPG70	103,62

Минимальное необходимое количество погрузочных и разгрузочных механизмов определяется по формуле [3]:

$$\mathrm{M_x} = \frac{Q_\mathrm{c}}{W_\mathrm{э} \times \mathrm{T_н}}. \quad (4)$$

Пример расчета минимального необходимого количества ПРС для автокрана Галичанин КС-55713-1В-4 приведен ниже. Значения минимального необходимого количества для других ПРС сведены в табл. 8.

$$\mathrm{M_x} = \frac{1036,224}{115,14 \times 10} = 0,900 = 1 \text{ ед.}$$

Таблица 8 – Результаты расчётов минимального необходимого количества ПРС

№	Модель погрузочно-разгрузочного средства	Минимальное необходимое количество ПРС, ед.
1	Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	1
2	Автокран XCMG QY30K5	1
3	Гусеничный трубоукладчик Sunward SWPG70	1

Исходя из полученных результатов, представленных в табл. 6, 7 и 8 для погрузочных и разгрузочных работ на всех участках (за исключением участка укладки газопровода) выбираем автокран Галичанин КС-55713-1В-4, так как он обеспечивает необходимую производительность при том же потребном количестве ПРС, как и у других ПРС, но имеет наименьшую арендную ставку с машинистом. На участке укладки газопровода в качестве разгрузочного средства будет использоваться гусеничный трубоукладчик Sunward SWPG70, что обусловлено необходимостью безопасной и точной укладки тяжеловесных труб массой более 12 тонн непосредственно в траншею в условиях бездорожья, где применение колёсных автокранов невозможно из-за низкой несущей способности грунта.

На основе полученных данных разработаны шесть технологических схем перевозки ТБД, отличающихся типом подвижного состава и продолжительностью операций. Для каждой схемы составлена пооперационная ведомость (ожидание, маневрирование, подготовка, оформление документов, погрузка, транспортирование, разгрузка, подача под следующую погрузку). Себестоимость перевозки одной трубы и одной тонны груза рассчитана с учётом стоимости машино-часа каждого автопоезда и ПРС. Пример технологической схемы и пооперационной ведомости для тягача КамАЗ 54901-70014-СА и полуприцепа тяжеловоза высокорамного УЗСТ ППТ-9177-044В3-40 и автокрана Галичанин КС-55713-1В-4 приведен ниже. Значения продолжительности операций, себестоимости перевозки 1 т, себестоимости перевозки 1 ТБД для других автомобилей и ПРС сведены в табл. 10.

Технологическая схема перевозки с использованием седельного тягача КамАЗ 54901-70014-СА и полуприцепа тяжеловоза высокорамного УЗСТ ППТ-9177-044В3-40 и автокрана Галичанин КС-55713-1В-4 (рис. 3). Обозначения на схеме поясняются в (табл. 9).

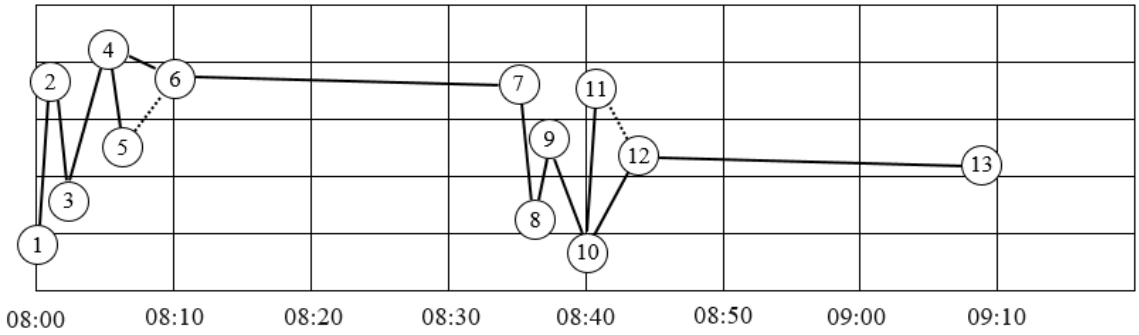


Рисунок 3 – Технологическая схема перевозки с использованием седельного тягача КамАЗ 54901-70014-СА и полуприцепа тяжеловоза высокорамного УЗСТ ППТ-9177-044В3-40 и автокрана Галичанин КС-55713-1В-4

Таблица 9 – Работы, выполняемые при перевозке ТБД, с использованием седельного тягача КАМАЗ 54901-70014-СА и полуприцепа тяжеловоза высокорамного УЗСТ ППТ-9177-044В3-40 и автокрана Галичанин КС-55713-1В-4

№ п/п	Наименование работы	Исполнители и механизмы			Продолжитель-ность операции, мин	Стоимость операции, р.
		Профессия работника	Подвижной состав	ПРС		
1-2	Ожидание погрузки	Водитель	Тягач и полуприцеп	-	1	36,67
2-3	Маневрирование автомобилем	Водитель	Тягач и полуприцеп	-	1	36,67
3-4	Подготовка к погрузке	Водитель, рабочие	Тягач и полуприцеп	-	3	110,00
4-5	Оформление документов	Водитель, диспетчер	Тягач и полуприцеп	-	1	36,67
4-6	Погрузка	Водитель, рабочие	Тягач и полуприцеп	Автокран	4,5	427,50
6-7	Транспортирование	Водитель	Тягач и полуприцеп	-	24	880,00
7-8	Ожидание разгрузки	Водитель	Тягач и полуприцеп	-	1	36,67
8-9	Маневрирование	Водитель	Тягач и полуприцеп	-	1	36,67
9-10	Подготовка к разгрузке	Водитель, рабочие	Тягач и полуприцеп	-	3	110,00
10-11	Оформление документов	Водитель, диспетчер	Тягач и полуприцеп	-	1	36,67
10-12	Разгрузка	Водитель, рабочие	Тягач и полуприцеп	Автокран	4,5	427,50
12-13	Подача подвижного состава под погрузку	Водитель	Тягач и полуприцеп	-	24	880,00
Итого					1,15 ч	3055,02
Себестоимость перевозки 1 трубы, р.					3055,02	
Себестоимость перевозки 1 т, р.					247,66	

3 Результаты исследований

В процессе перевозки труб большого диаметра (ТБД) от железнодорожной станции «Биробиджан-1» до базисного склада и далее до места строительства газопровода были проведены исследования эффективности различных технологических схем с применением централизованной системы мониторинга и управления транспортным процессом.

Как показали исследования, в автотранспортных предприятиях при перевозке тяжеловесных и крупногабаритных грузов, таких как ТБД, изменение эксплуатационных показателей возникает вследствие различий в дорожных условиях, неравномерности загрузки подвижного состава и неидеальности алгоритмов распределения транспортных потоков. Результатом работы предложенного алгоритма оптимизации маршрутов и выбора подвижного состава является то, что при сравнении альтернативных вариантов тягачей, полуприцепов и погрузочно-разгрузочных механизмов достигается минимальная себестоимость перемещения 1 тонны груза.

Таблица 10 – Результаты разработки технологических схем

№	Модель автомобиля	Модель погрузочного средства	Модель разгрузочного средства	Продолжительность операций, ч.	Себестоимость перевозки 1 трубы, р.	Себестоимость перевозки 1 т, р.
1	КамАЗ 54901-70014-СА + Полуприцеп тяжеловоз	Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	1,15	3055,02	247,66
2	Sitrak C7H MAX, 2024 + Полуприцеп тяжеловоз	Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	1,15	2824,98	229,00
3	Volvo FH 500, 2025 + Полуприцеп тяжеловоз	Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	1,15	3720,00	301,56
4	Трубоплетевоз КамАЗ-43118 + прицеп роспуск	Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	Гусеничный трубоукладчик Sunward SWPG70	3,36	11425,82	926,22
5	Трубовоз Iveco-AMT 633900 + прицеп роспуск	Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	Гусеничный трубоукладчик Sunward SWPG70	3,52	8591,67	696,47
6	Трубоплетевоз Урал-5557 + прицеп роспуск	Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	Гусеничный трубоукладчик Sunward SWPG70	3,36	10754,17	871,77

Себестоимость перемещения груза складывается из себестоимости погрузочных работ, транспортирования и разгрузочных работ и определяется по формуле [3]:

$$\sum C = C_п \times M_x + C_a \times A_x, \quad (4)$$

где $\sum C$ – суммарная себестоимость перемещения, р./ч; $C_п$ – себестоимость использования погрузочного механизма, р./ч; C_a – себестоимость использования автомобиля, р./ч; M_x – число погрузочных механизмов, ед.; A_x – потребное число автомобилей, ед.

Рассчитанные себестоимости перемещения груза от ж/д станции «Биробиджан-1» до базисного склада представлены в табл. 11.

Исходя из данных в табл. 11 можно сделать вывод, что наименьшую суммарную часовую себестоимость (27 тыс. р./ч) обеспечивает комбинация: тягач Sitrak C7H MAX с полуприцепом-тяжеловозом и автокран Галичанин КС-55713-1В-4. Использование более производительного

крана (XCMG) или специализированного трубоукладчика (Sunward) на данном этапе нецелесообразно, так как ведет к росту затрат без существенного выигрыша в производительности.

Рассчитанные себестоимости перемещения груза от базисного склада до места укладки трубопровода приведены в табл. 12. При организации перевозки от базисного склада до места строительства трубопровода разгрузка осуществляется гусеничным трубоукладчиком Sunward SWPG70.

Таблица 11 – Расчетная себестоимость перемещения груза от ж/д станции «Биробиджан-1» до базисного склада

Модель автомобиля	Показатели	Единицы измерения	Модель ПРС		
			1) Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	2) Автокран XCMG QY30K5	3) Гусеничный трубоукладчик Sunward SWPG70
1) КАМАЗ 54901-70014-СА + полуприцеп тяжеловоз	Себестоимость работы 1 м-ч автомобиля	р./ч	2200	2200	2200
	Число автомобилей	ед.	10	10	11
	Общая себестоимость транспортирования	р./ч	22000	22000	24200
	Себестоимость работы 1 м-ч погрузчика	р./ч	3500	4000	5000
	Число погрузочных механизмов	ед.	1	1	1
	Общая себестоимость погрузки	р./ч	3500	4000	5000
	Число разгрузочных механизмов	ед.	1	1	1
	Общая себестоимость разгрузки	р./ч	3500	4000	5000
	Суммарная себестоимость перемещения	р./ч	29000	30000	34200
2) Sitrak C7H MAX, 2024 + полуприцеп тяжеловоз	Себестоимость 1 м-ч автомобиля	р./ч	2000	2000	2000
	Число автомобилей	ед.	10	10	11
	Общая себестоимость транспортирования	р./ч	20000	20000	22000
	Себестоимость 1 м-ч погрузчика	р./ч	3500	4000	5000
	Число погрузочных механизмов	ед.	1	1	1
	Общая себестоимость погрузки	р./ч	3500	4000	5000
	Число разгрузочных механизмов	ед.	1	1	1
	Общая себестоимость разгрузки	р./ч	3500	4000	5000
	Суммарная себестоимость перемещения	р./ч	27000	28000	32000
3) Volvo FH 500, 2025 + полуприцеп тяжеловоз	Себестоимость 1 м-ч автомобиля	р./ч	2700	2700	2700
	Число автомобилей	ед.	10	10	11
	Общая себестоимость транспортирования	р./ч	27000	27000	29700
	Себестоимость 1 м-ч погрузчика	р./ч	3500	4000	5000
	Число погрузочных механизмов	ед.	1	1	1
	Общая себестоимость погрузки	р./ч	3500	4000	5000
	Число разгрузочных механизмов	ед.	1	1	1
	Общая себестоимость разгрузки	р./ч	3500	4000	5000
	Суммарная себестоимость перемещения	р./ч	34000	35000	39700

Таблица 12 – Расчетная себестоимость перемещения груза от ж/д станции «Биробиджан-1» до базисного склада

Модель автомобиля	Показатели	Единицы измерения	Модель ПРС		
			1) Автокран Галичанин КС-55713-1В-4	2) Автокран XCMG QY30K5	3) Гусеничный трубоукладчик Sunward SWPG70
1)Трубоплетевоз КамАЗ-43118 + прицеп роспуск УСТ 9465 сп.м.	Себестоимость 1 м·ч автомобиля	р./ч	3200	3200	3200
	Число автомобилей	ед.	29	29	29
	Общая себестоимость транспортирования	р./ч	92800	92800	92800
	Себестоимость 1 м·ч погрузчика	р./ч	3500	4000	5000
	Число погрузочных механизмов	ед.	1	1	1
	Общая себестоимость погрузки	р./ч	3500	4000	5000
	Число разгрузочных механизмов	ед.	-	-	1
	Общая себестоимость разгрузки	р./ч	5000		
	Суммарная себестоимость перемещения	р./ч	101300	101800	102800
2) Трубовоз Iveco-AMT 633900 + прицеп роспуск ПРТ 20-24 BPW	Себестоимость 1 м·ч автомобиля	р./ч	4500	4500	4500
	Число автомобилей	ед.	16	16	16
	Общая себестоимость транспортирования	р./ч	72000	72000	72000
	Себестоимость 1 м·ч погрузчика	р./ч	3500	4000	5000
	Число погрузочных механизмов	ед.	1	1	1
	Общая себестоимость погрузки	р./ч	3500	4000	5000
	Число разгрузочных механизмов	ед.	-	-	1
	Общая себестоимость разгрузки	р./ч	5000		
	Суммарная себестоимость перемещения	р./ч	80500	81000	82000
3) Трубоплетевоз Урал-5557 + прицеп роспуск ПРТ 10-23-01 УСТ 9465	Себестоимость 1 м·ч автомобиля	р./ч	3000	3000	3000
	Число автомобилей	ед.	29	29	29
	Общая себестоимость транспортирования	р./ч	87000	87000	87000
	Себестоимость 1 м·ч погрузчика	р./ч	3500	4000	5000
	Число погрузочных механизмов	ед.	1	1	1
	Общая себестоимость погрузки	р./ч	3500	4000	5000
	Число разгрузочных механизмов	ед.	-	-	1
	Общая себестоимость разгрузки	р./ч	5000		
	Суммарная себестоимость перемещения	р./ч	95500	96000	97000

Исходя из данных в табл. 12 можно сделать вывод, что наименьшую суммарную часовую себестоимость (80,5 тыс. р./ч) обеспечивает комбинация: трубовоз Iveco-AMT 633900 с прицепом-роспуском (погрузка автокраном Галичанин, разгрузка трубоукладчиком Sunward). Несмотря на высокую индивидуальную стоимость, использование трубоукладчика Sunward на этапе разгрузки является технологической необходимостью и учтено в расчетах для всех вариантов. Трубовоз Iveco-AMT оказывается оптимальным, так как его высокая грузоподъемность (2 трубы за рейс) сокращает требуемый парк автомобилей почти вдвое по сравнению с другими моделями, что в итоге минимизирует общие затраты.

4 Обсуждение и заключение

Таким образом, предложенные технологические проекты перевозки труб большого диаметра от железнодорожной станции «Биробиджан-1» до базисного склада и далее до места строительства газопровода позволяют организовать транспортный процесс с учётом различных дорожных условий: дорог с твёрдым покрытием на первом этапе и бездорожья на втором этапе.

Результаты выполненных исследований показали, что:

1) На первом этапе (расстояние 20 км) наиболее экономически эффективным является использование магистрального автопоезда в составе тягача Sitrak C7H MAX, 2024 и полуприцепа-тяжеловоза высокорамного УЗСТ ППТ-9177-044В3-40. Себестоимость перевозки 1 тонны ТБД данным составом составляет 229,00 р., производительность за смену – 108,90 т.

2) На втором этапе (расстояние 30 км, бездорожье) оптимальным является применение трубовоза Iveco-AMT 633900 с прицепом-роспуском ПРТ 20-24 BPW УСТ 9465, способного перевозить две трубы за рейс. Себестоимость перевозки 1 тонны составляет 696,47 р., производительность за смену – 66,70 т.

3) Общая себестоимость двухэтапной перевозки 1 тонны ТБД по оптимальной комбинированной схеме составляет 925,47 р.

4) Сравнительный анализ альтернативных вариантов подвижного состава (КамАЗ 54901, Volvo FH 500, КамАЗ-43118, Урал-5557) и погрузочно-разгрузочных механизмов (автокраны различных моделей, гусеничный трубоукладчик Sunward SWPG70) подтвердил, что выбор оптимальной комбинации техники позволяет минимизировать суммарные эксплуатационные затраты при выполнении требуемого суточного объёма перевозок (1036,22 т).

5) Применение на этапе разгрузки гусеничного трубоукладчика Sunward SWPG70 является технологической необходимостью, обусловленной тяжеловесностью и крупногабаритностью груза и условиями бездорожья. Несмотря на его высокую стоимость, использование данной машины обеспечивает безопасную и своевременную разгрузку ТБД непосредственно в месте строительства газопровода.

6) Для сложных логистических проектов, сопряжённых со строительством магистральных трубопроводов в труднодоступных регионах, оптимальной является двухэтапная комбинированная схема с использованием разных типов специализированного подвижного состава. Выбранная схема обеспечивает баланс между производительностью, надёжностью и минимальной общей стоимостью доставки.

Разработанные технологические проекты могут быть рекомендованы к внедрению на автотранспортных предприятиях, осуществляющих доставку труб большого диаметра для инфраструктурных проектов в условиях комбинированных маршрутов (автомобильные дороги общего пользования и по пересечённой местности).

Список литературы

1 Тунгусский рубеж взят: рекордная прокладка газовой артерии укрепит Дальний Восток // Коммерсантъ : офиц. сайт. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/8246855 (дата обращения: 09.12.2025).

2 Грузовые автомобильные перевозки : учебник для вузов / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Куликов. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2006. – 560 с.

3 Ширяев, С. А. Транспортные и погрузочно-разгрузочные средства : учебник для вузов / С. А. Ширяев, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин. – Москва : Горячая линия - Телеком, 2007. – 848 с.

4 Эксперт Юг : официальный сайт. URL: https://expertsouth.ru (дата обращения: 28.12.2025).

5 Гарнов, А. П. Потенциал развития трубной промышленности в условиях нестабильности / А. П. Гарнов, О. В. Девяткин, Г. А. Рыбина // Вестник РЭА им. Г. В. Плеханова. – 2024. – № 2. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-razvitiya-trubnoy-promyshlennosti-v-usloviyah-nestabilnosti (дата обращения: 28.10.2025).

6 Колбасин, А. В. Состояние и перспективы развития трубной промышленности России / А. В. Колбасин, Е. П. Гармашова // ЭПП. – 2023. – № 7. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-trubnoy-promyshlennosti-ros sii (дата обращения: 28.10.2025).

7 Prometall : официальный сайт. URL: https://www.prometall.info/ (дата обращения: 28.12.2025).
8 РБК : официальный сайт. URL: https://www.rbc.ru/ (дата обращения: 28.10.2025).
9 ТАСС : официальный сайт. URL: https://tass.ru/ (дата обращения: 28.12.2025).
10 Ак Жайык : официальный сайт. URL: https://azh.kz/ (дата обращения: 09.11.2025).
11 Антонов М. «Газпром» создаст подразделение для реализации крупных проектов на месторождениях // Ведомости. – 2018. – 10 янв. – URL: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/01/10/747316-gazprom (дата обращения: 11.12.2025).
12 Трубы класса прочности К70 // Северсталь : офиц. сайт. – URL: https://severstal.com/rus /clients/ products-catalog/truby-bolshogo-diametra/k70-k80/ (дата обращения: 12.12.2025).
13 Бурмистрова, С. «Газпром» выбрал поставщиков труб на ₽96 млрд для постройки газопроводов / С. Бурмистрова // РБК. – 03.07.2020. – URL: https://www.rbc.ru /business/03/07/2020/5eff543a9a794747ae0d4557 (дата обращения: 05.01.2026).

References

1 The Tunguska frontier has been taken: the record-breaking laying of the gas artery will strengthen the Far East // Kommersant : ofic. website. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/8246855 (date of reference: 09.12.2025).
2 Freight automobile transportation: a textbook for universities / A.V. Velmozhin, V. A. Gudkov, L. B. Mirotin, A.V. Kulikov. Moscow : Hotline – Telecom, 2006. 560 p.
3 Shiryaev, S. A. Transport and loading and unloading facilities : a textbook for universities / S. A. Shiryaev, V. A. Gudkov, L. B. Mirotin. Moscow : Telekom Hotline, 2007. 848 p.
4 Expert Yug : the official website. URL: https://expertsouth.ru (date of reference: 28.12.2025).
5 Garnov, A. P. The potential for the development of the pipe industry in conditions of instability / A. P. Garnov, O. V. Devyatkin, G. A. Rybina // Bulletin of the Plekhanov Russian Academy of Economics. – 2024. – No. 2. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-razvitiya-trubnoy-promyshlennosti-v-us lo viyah-nestabilnosti (date of request: 28.10.2025).
6 Kolbasin, A.V. The state and prospects of development of the Russian pipe industry / A.V. Kolbasin, E. P. Garmashova // EPP. – 2023. – № 7. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-trubnoy-promyshlennosti-ros sii (accessed: 10/28/2025).
7 Prometall : official website. URL: https://www.prometall.info / (date of publication: 28.12.2025).
8 RBC : official website. URL: https://www.rbc.ru / (date of access: 28.12.2025).
9 TASS : official website. URL: https://tass.ru / (date of access: 28.12.2025).
10 Ak Zhaiyk : official website. URL: https://azh.kz / (date of reference: 29.12.2025).
11 Antonov M. Gazprom will create a division for the implementation of major projects in the fields // Vedomosti. – 2018. – Jan 10. – URL: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/01/10/747316-gazprom (date of request: 29.12.2025).
12 Pipes of strength class K70 // Severstal : Official website. website. – URL: https://severstal.com/rus /clients/ products-catalog/truby-bolshogo-diametra/k70-k80/ (date of request: 29.12.2025).
13 Burmistrova, S. Gazprom has selected pipe suppliers worth 96 billion rubles for the construction of gas pipelines / S. Burmistrova // RBK. – 07/03/2020. – URL: https:// www.rbc.ru /business/03/07/2020/ 5eff543a9a794747ae0d4557 (date of request: 05.01.2026).

© Трофимов А. А., Ширяев С. А., Раюшкина А. А.,
Ковалев А. М., Зеликов В. А., Кадырметов А. М., 2026