

# Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта

## Designing, construction and operation of pipeline transport system

25.00.19 Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ  
(технические науки)

DOI: 10.31660/0445-0108-2021-2-89-103

УДК 622.692.4-192(985):536.4-027.44

### Имитационное моделирование нестационарных теплофизических процессов при мониторинге надежности магистральных нефтепроводов Арктики

**В. В. Голик\*, Ю. Д. Земенков, М. Ю. Земенкова, Е. Л. Чижевская,  
К. С. Воронин**

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

*\*e-mail: darkpaint@mail.ru*

**Аннотация.** Современные условия постоянно развивающегося рынка углеводородов, а также освоение новых северных территорий для большей добычи диктуют необходимость применения современных комплексов для расчета проектируемых трубопроводных систем, а также для прогнозирования их поведения на промежутки времени более десяти лет. Это позволит избежать аварий и экологических катастроф, участившихся в последние годы в связи с износом существующего оборудования. В работе представлен метод мониторинга основных параметров надежности пролегающих подземно нефтепроводов с учетом изменения грунтовых оснований преимущественно в Арктической зоне РФ. Рассматривается участок нефтепровода в качестве объекта мониторинга теплотехнических процессов и влияния их на надежность системы. Описаны основные результаты расчетов участка нефтепровода, смоделированы изменения грунтовых оснований. В качестве примера для повышения надежностных характеристик для расчетов использовалась многослойная труба с пенополиуретановой изоляцией и обетонированием, которая показала наилучшие показатели по итогу моделирования в сравнении с проектной трубой.

**Ключевые слова:** многолетнемерзлые грунты; растепление; магистральный нефтепровод; механическая безопасность

### Simulation modeling of non-stationary thermophysical processes when monitoring the reliability of main oil pipelines in the Arctic

**Vasily V. Golik\*, Yuri D. Zemenkov, Maria Yu. Zemenkova,  
Elena L. Chizhevskaya, Konstantin S. Voronin**

*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*

*\*e-mail: darkpaint@mail.ru*

*Abstract.* The use of modern complexes for calculating the designed pipeline systems and for predicting their behavior for a period of more than ten years is necessary in modern conditions of the constantly developing hydrocarbon market and the development of new northern territories for greater oil production. It will allow avoiding accidents and environmental disasters that have become more frequent in recent years due to the deterioration of existing equipment. The article presents a method for monitoring the main reliability parameters of underground oil pipelines, taking into account changes in soil foundations, mainly in the Arctic zone of the Russian Federation. An oil pipeline section is considered as an object for monitoring of heat engineering processes and their influence on the reliability of the system. We describe the main results of calculations of the oil pipeline section and simulate changes in soil foundations. We used a multilayer pipe with polyurethane foam insulation and coating for the calculations to improve the reliability characteristics. This pipe has showed the best results of modeling in comparison with the design pipe.

*Key words:* permafrost soils; thawing; main oil pipeline; mechanical safety

## **Введение**

В современном мире, где темпы добычи возрастают, предъявляются все более высокие требования к строительству и эксплуатации объектов транспорта нефти и нефтепродуктов. Для этого зоны добычи нефти расширяются, разрабатываются новые месторождения, большая часть из которых находится в северной части Западной Сибири и на Арктическом шельфе.

Новые, все более сложные задачи, требования и пути к дальнейшему развитию отрасли отмечены на федеральном уровне в следующих документах: Энергетическая стратегия России на период до 2035 г.: утв. распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р.; Программа стратегического развития ПАО «Транснефть» на период до 2020 года (утв. решением совета директоров ПАО «АК «Транснефть», протокол № 2 от 31.01.2012); Программа инновационного развития ПАО «Газпром нефть» до 2025 года, стратегия ПАО «СИБУР Холдинг» в области устойчивого развития до 2025 года, утвержденная 16 января 2020 года; Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144.

В связи с экстремальными температурами данных регионов все более сложными становятся специальные технологии, конструкции, необходимые средства и сооружения, а также технологические схемы объектов добычи, подготовки, сбора, хранения и транспорта добываемой углеводородной продукции.

На этапе проектирования выполняется комплекс геодезических исследований, позволяющий специалистам грамотно оценить несущую способность и свойства грунтовых оснований, даже малейшие ошибки в расчетах приводят к авариям и катастрофам. Движения грунтовых оснований влекут за собой деформацию эксплуатируемого трубопровода и, как следствие, его разгерметизацию.

Особое внимание стоит уделить трубопроводным сетям, проложенным в многолетнемерзлом грунте.

Трубопроводы, прокладываемые в многолетнемерзлых грунтах, имеют ряд серьезных проблем, которые проявляются только спустя достаточно большой промежуток времени. Это просадка грунта вследствие его растепления и выпучивание. Закономерный итог — большое количество техногенных катастроф в различных сферах промышленности по всей территории РФ [1].

При растеплении оснований меняются характеристики грунта, что влечет за собой трещины и обрушение зданий, обрывы ЛЭП, изменение проектного положения трубопроводов. Последствия могут быть различными, начиная от небольшой деформации конструкции здания, трубопровода, дорожного покрытия и заканчивая аварией, обрушением, экологической катастрофой и гибелью людей.

Как пример, разлив топлива в г. Норильске, произошедший 29 мая 2020 года. Президентом РФ В. В. Путиным был объявлен режим ЧС федерального масштаба. Нефтепродукты попали в почву и реку Амбарную. Общее количество разлившегося дизеля превысило 20 тыс. т. Таймырская энергетическая компания сообщает, что авария произошла из-за внезапного проседания опор вследствие таяния многолетнемерзлых грунтов под основанием резервуара (рис. 1)<sup>1</sup> [2].



Рис. 1. Авария в г. Норильске<sup>2</sup>

В районе месторождения Ярудейское в 2018 году произошло несколько инцидентов с выпучиванием промысловых трубопроводов и их деформацией.

Как следствие, для предотвращения подобных аварийных ситуаций представляется актуальным мониторинг конструктивной надежности и механической безопасности трубопроводов с учетом всех разновидностей грунтов, в которых они пролегают. Мониторинг позволяет на различных этапах разработки проектов оценивать динамику структуры многолетнемерзлых грунтов в районе зданий и сооружений нефтегазового комплекса с учетом большого количества изменяющихся во времени параметров.

Метод мониторинга с использованием современных программ позволяет изучать и анализировать воздействие процессов, происходящих в системе

<sup>1</sup> Ущерб России от таяния вечной мерзлоты оценили в 150 млрд рублей в год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.m24.ru/news/ehkologiya/18102019/93957>.

<sup>2</sup> Последствия разлива топлива в Норильске. Фоторепортаж [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/photoreport/03/06/2020/5ed7b4ac9a794710786cc0d1>.

«труба — грунт», и представляется наиболее востребованным для условий арктической зоны. Кроме того, на стадии проектирования методика позволит более корректно подбирать материал для теплоизоляции трубопроводов.

### Объект и методы исследования

Влияние подземных нефтепроводов на динамику промерзания грунтовых оснований в основном определяется большим количеством факторов, например, изменением температурного режима в течение года, а также толщиной выпавших осадков в зимнее время.

Решение данной задачи подразумевает под собой изучение тепловых процессов, протекающих как в самом трубопроводе и слоях его изоляции, так и в окружающем его грунте, что представляет собой общую систему «труба — грунт».

Различным аспектам исследуемой проблемы посвящено множество работ на различных этапах технологического развития, так, в области современных вопросов теплофизического моделирования взаимодействия нефтегазопроводов с грунтовыми основаниями известны работы Н. А. Гаррис, Б. В. Моисеева, В. И. Сурикова, А. Д. Набережного, Ю. В. Лисина, В. Н. Комарица и др.

На кафедре «Транспорт углеводородных ресурсов» Тюменского индустриального университета проводятся исследования по мониторингу параметров надежности трубопроводов с учетом теплового состояния грунтовых оснований в условиях арктической зоны и их поведения при изменении температурного режима [3, 4]. На этапе исследования теплофизических процессов, с учетом вышеописанных условий, была разработана расчетная модель процесса распределения тепла вокруг подземного нефтепровода, которая представлена на рисунке 2.

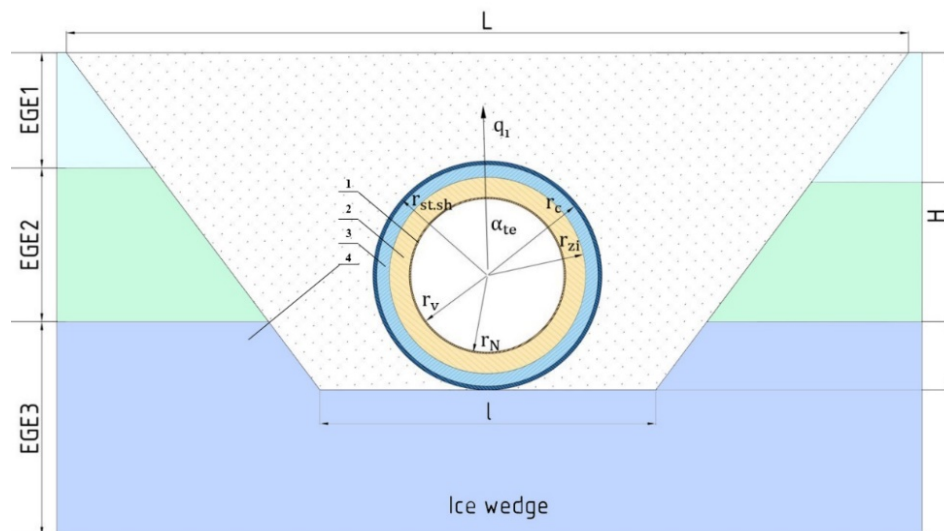


Рис. 2. Расчетная модель теплового взаимодействия подземного нефтепровода в многолетнемерзлых грунтах: 1 — стальная труба; 2 — пенополиуретановая теплоизоляция; 3 — наномодифицированное бетонное покрытие; 4 — многолетнемерзлый грунт, представленный слоями инженерно-геологических элементов (ИГЭ)

После проработки основной модели, определения всех свойств материалов, грунтов и обозначения граничных условий для проведения численного моделирования задачи был выбран универсальный программный комплекс конечно-элементного моделирования — ANSYS [5, 6].

#### *Постановка задачи*

Рассматривается массив мерзлого грунта, в котором пролегает трубопровод диаметром 1 020 мм, температура перекачиваемого нефтепродукта — 8 °С. Для более точного моделирования были получены данные о климате (температура и скорость ветра) (табл. 1) и геологических особенностях региона пролегания нефтепровода на полуострове Ямал (табл. 2, 3).

Для технической реализации предлагаемой модели за основу была взята труба МТЗК-СВАП ЗУБ-ТЕРМО, применяемая в сложных геокриологических условиях. Благодаря своей комплексной многофункциональной термозащите труба сводит к минимуму тепловые воздействия трубопровода на грунтовые основания. Также благодаря применению композитных материалов повышаются прочностные характеристики трубопровода, снижаются риски его повреждения и вероятность смещения с проектного положения. Все необходимые теплофизические и технические характеристики применяемых материалов трубопровода соответствуют техническим условиям производителя ТУ 5860-107-81417928-2016 и ТУ 5768-035-81417928-2015<sup>3,4</sup>. Труба соответствует требованиям СП 86.13330.2014<sup>5</sup>.

Таблица 1

#### *Климатические данные*

Месяц	Температура, °С	Скорость ветра, м/с
Январь	–22,6	4,9
Февраль	–19,3	4,6
Март	–9,2	5,5
Апрель	–4,4	5,2
Май	1,5	5,6
Июнь	12,5	4,8
Июль	16,6	4,7
Август	12,1	5,6
Сентябрь	6,2	5,1
Октябрь	–2,9	5,2
Ноябрь	–15,3	5,5
Декабрь	–17,7	5,2

<sup>3</sup> ТУ 5860-040-81417928-2016. Трубы и соединительные детали трубопроводов с защитным покрытием «ЗУБ-КОМПОЗИТ» [Электронный ресурс]. – Введ. 2016-02-26. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/437191577>.

<sup>4</sup> ТУ 5768-035-81417928-2015. Термоизолирующее направление [Электронный ресурс]. – Введ. 2015-04-21. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/437181527>.

<sup>5</sup> СП 86.13330.2014. Магистральные трубопроводы [Электронный ресурс]. – Введ. 2016-06-01. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200111111>.

В ходе расчета учитываются периодическое изменение температуры и силы ветра на поверхности, фазовое состояние в зависимости от теплоемкости и теплопроводности грунта [7, 8].

Таблица 2

**Теплофизические свойства грунтов**

Параметр материала	Наименование материала					
	ИГЭ 1 Торф	ИГЭ 2 Торф преимущественно среднеразложившийся, пластично-мерзлый, льдистый. Содержит повторно жильные льды (ПЖЛ)	ИГЭ 3 Супесчано-суглинистый грунт, льдистый	ИГЭ 4 Супесчано-суглинистый грунт с повышенным содержанием льда	Траншея	ПЖЛ
Температура, °C	–0,6	–0,6	–0,9	–1	–0,6	–0,6
Теплоемкость талого грунта, МДж/(м <sup>3</sup> · °C)	2,94	2,99	3,13	3,16	2,5	1,86
Теплоемкость мерзлого грунта, МДж/(м <sup>3</sup> · °C)	1,85	2,17	2,14	2,05	1,842	1,86
Теплопроводность талого грунта, Вт/(м · °C)	0,51	1,41	1,57	1,25	1,5	2,25
Теплопроводность мерзлого грунта, Вт/(м · °C)	0,86	1,55	1,79	2,3	2,25	2,25
Плотность сухого грунта, кг/м <sup>3</sup>	150	1 380	1 220	1 000	1 330	1
Температура фазового перехода, °C	–0,37	–0,32	–0,28	–0,3	–0,05	0

Таблица 3

**Мощность слоев грунта**

Геологический слой	Мощность слоя, м
ИГЭ 1	0,7
ИГЭ 2	4,3
ИГЭ 3	2,2
ИГЭ 4	7,8

ANSYS Workbench представляет интерактивную среду, содержащую различные программные продукты, позволяющие производить расчеты широкого спектра. ANSYS Workbench является мощным инструментом управления проектом.

Рассмотрим пример решения задачи в программном пакете Mechanical, входящем в состав ANSYS для анализа процессов теплообмена, расчет допустим как в стационарном, так и в нестационарном режиме, при этом учитывается, изменяется ли нагрузка по времени.

Следует отметить, что процесс изменения фазового состояния в зависимости от температуры и изменение температуры в течение времени делают расчет теплообмена не только нестационарным, но и нелинейным [9–11].

Первым шагом является создание проекта, для этого использовался пакет Transient Thermal, реализующий алгоритм нелинейного расчета теплообмена.

Все известные свойства материалов, необходимые для решения поставленной задачи, задаются в окне Engineering Data. Теплофизические характеристики грунта во время фазового перехода изменяются. Момент перехода грунта из мерзлого состояния в талое моделируется путем задания теплоемкости и теплопроводности грунта в мерзлом и талом состоянии. Engineering Data предлагает как создание материала с необходимыми свойствами, так и выбор из имеющейся базы данных.

В целях расчета первый вариант будет предпочтительнее, поэтому для каждого слоя ИГЭ задаем значения теплоемкости и теплопроводности (см. табл. 2) в мерзлом и талом состоянии<sup>6,7</sup> с учетом температуры фазового перехода (рис. 3) [12, 13].

Следует отметить, что состав грунтовых оснований на протяжении всего трубопровода редко является однородным, вследствие чего для более точных расчетов необходимо использовать актуальные данные геологоразведки данной местности на этапе проектирования объекта.

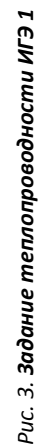
Далее разработанная авторским коллективом модель (см. рис. 2) реализуется в программном комплексе, где задаются все необходимые параметры, и строится первоначальная сетка (рис. 4) [14].

На следующем этапе происходят проверка сетки, ее уточнение для оптимизации процесса расчета и для получения корректного результата (рис. 5) [15].

---

<sup>6</sup> ГОСТ 26263-84. Грунты. Метод лабораторного определения теплопроводности мерзлых грунтов [Электронный ресурс]. – Введ. 1985-07-01. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200000338>.

<sup>7</sup> СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200095519>.



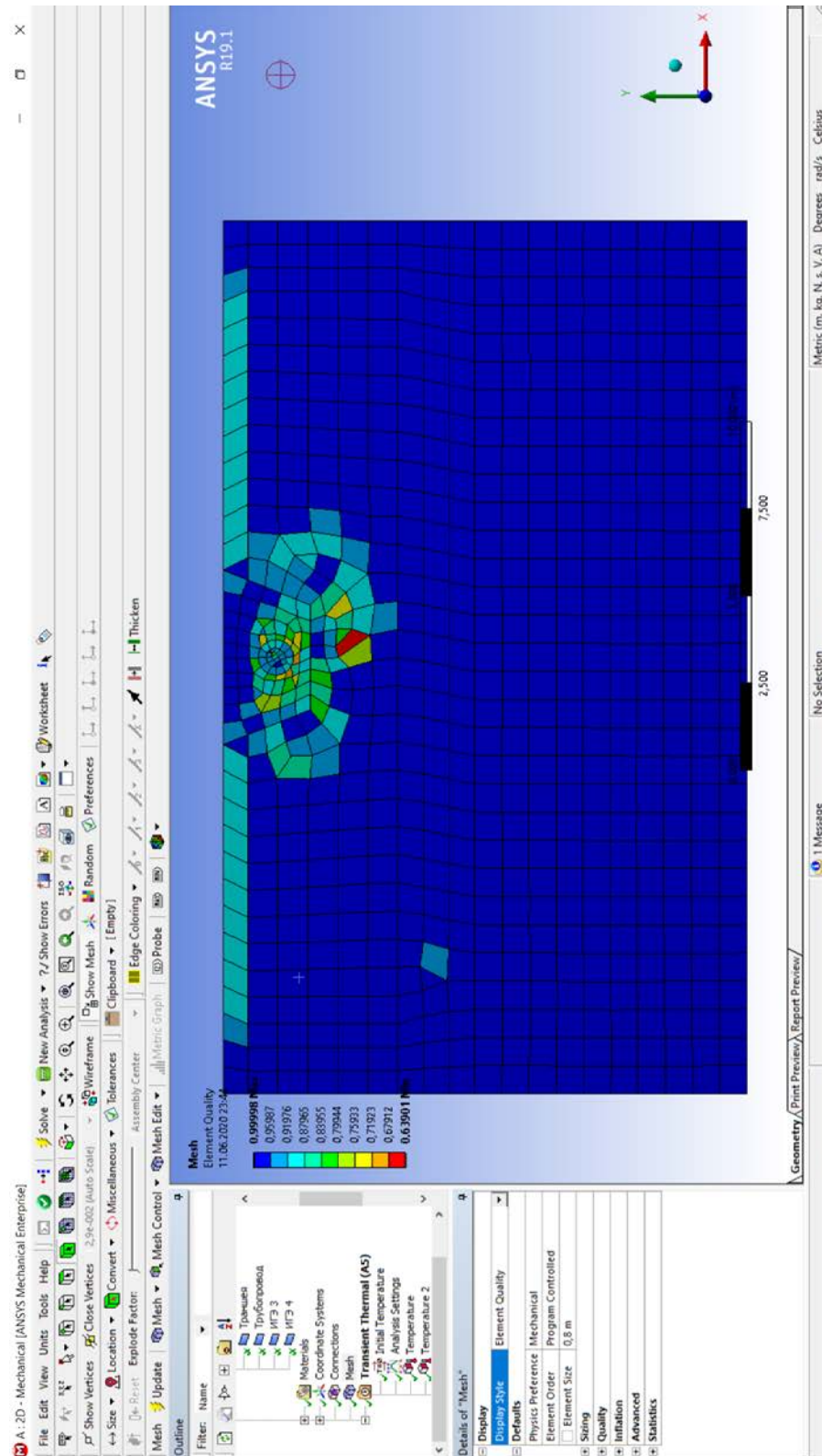


Рис. 4. Построение сетки по умолчанию

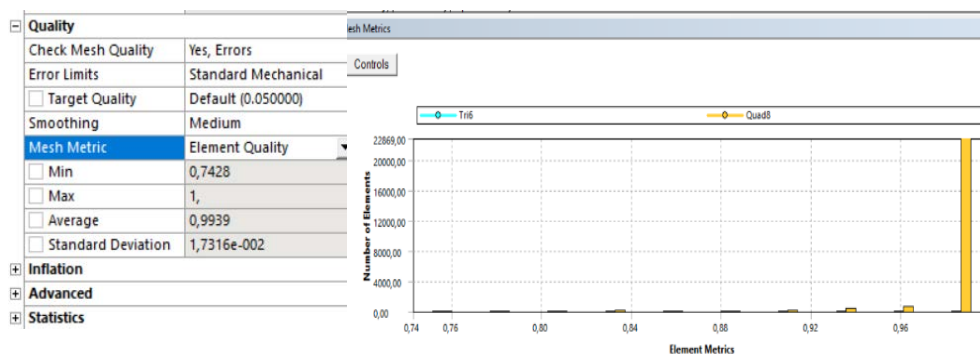


Рис. 5. Проверка качества элементов геометрии

После создания и настройки сетки необходимо настроить решатель. Нелинейные решения в ANSYS Mechanical, основанные на методе Ньютона — Рафсона, реализуются через настройку Analysis Settings. Настройка начинается с условия нелинейности для данного расчета, во вкладке Nonlinear Formulation необходимо выбрать опцию Full.

Расчет целесообразно производить на 2 года с выставлением 24 шагов. Время в Analysis Settings измеряется в секундах, 1 месяц равен  $2,628e^6$  [16].

Решатель позволяет задать граничные условия для модели, всего рассматриваются 3 граничных условия:

- на поверхности происходит конвективный теплообмен;
- температура трубопровода равна  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- нижнее граничное условие будет представлять собой постоянную температуру многолетнемерзлого грунта  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Предполагается, что температура грунта за боковой границей расчетной области равна температуре на границе, и вследствие этого тепловой поток через боковую границу отсутствует. Поэтому на боковой границе расчетной области необходимо задать тепловой поток, равный нулю.

## Результаты

После завершения расчета модели, с применением всех граничных условий и решателей, результаты представляются в виде графического изображения температурного ореола и процесса передачи тепла (рис. 6, 7).

Распределение тепловых ореолов наглядно характеризует надежность и качество использования композитной изоляции из пенополиуретана и нанобетона, при которых температурное поле вокруг трубопровода сохраняет стабильные параметры. Также при таком методе моделирования можно установить заблаговременно различные изменения грунтовых оснований, которые могут привести к деформации трубопровода и нарушению его целостности [17–19].

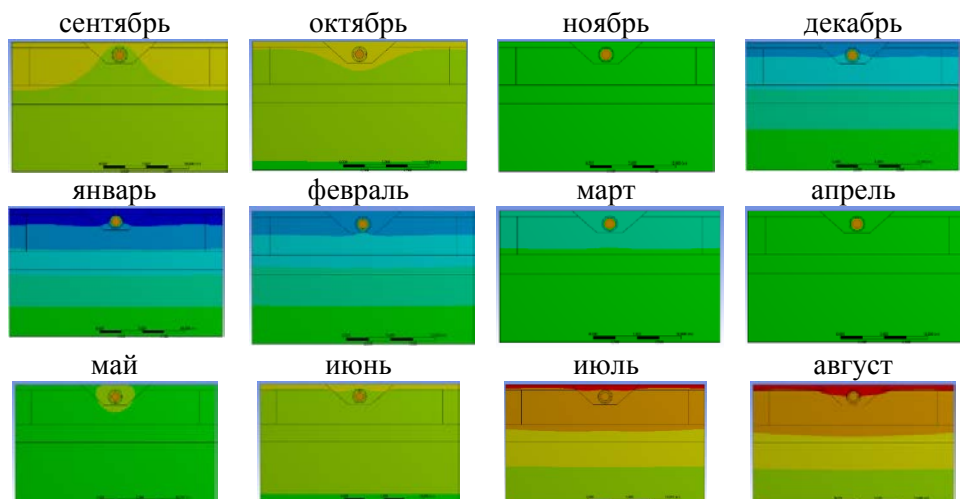


Рис. 6. Температурные поля при прокладке нефтепровода

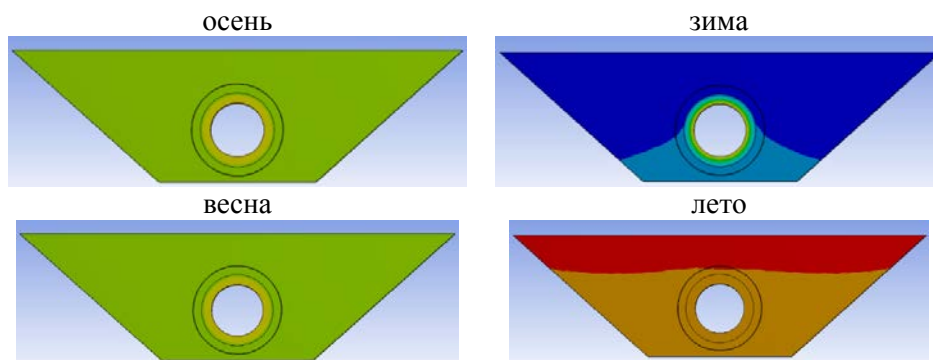


Рис. 7. Фазовые состояния при прокладке нефтепровода

### Выводы

Выполненное на основании изложенного алгоритма математическое и имитационное моделирование позволило получить результаты, на основании которых можно сделать вывод о целесообразности применения программных комплексов конечно-элементного моделирования, таких как ANSYS, для долгосрочного прогнозирования надежности и механической безопасности трубопроводных систем, проложенных подземным способом в условиях многолетнемерзлых грунтов Арктической зоны РФ. Несмотря на многообразие видов грунта и различных резко меняющихся погодных условий, реализованная модель при заданных начальных условиях позволяет строить прогнозы на достаточно большие промежутки времени. Таким образом, результаты моделирования динамики состояний трубопровода значительно сокращают срок разработки нормативной и проектной документации для различных объектов и при определенном наборе извест-

ных параметров позволяют производить экспресс-моделирование критических участков трубопроводной системы при их эксплуатации.

#### **Библиографический список**

1. Голик, В. В. Мониторинг теплофизических параметров магистральных трубопроводов в сложных инженерно-геологических условиях арктической зоны РФ / В. В. Голик, Ю. Д. Земенков, А. А. Гладенко. – Текст : непосредственный // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. Материалы 10-й Международной научно-технической конференции «Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства» (Омск, 26–29 февраля 2020 года). – Омск : Омский государственный технический университет, 2020. – С. 230–231.
2. Математическое моделирование нестационарного температурного взаимодействия теплопроводов и сезоннопромерзающих грунтов / Б. В. Моисеев, Н. П. Кушакова, Н. В. Налобин [и др.]. – Текст : непосредственный // Композиционные строительные материалы : сборник научных трудов международной научно-практической конференции. – Пенза : ПензГАСА, 2002. – С. 261–264.
3. Mathematic simulation of the effect of a buried oil pipeline on permafrost soils / V. V. Golik, B. V. Moiseev, S. G. Gulkova, Yu. D. Zemenkov. – DOI 10.1088/1757-899X/445/1/012004. – Текст : непосредственный // International Conference Transport and Storage of Hydrocarbons, 29–31 August 2018 (Tyumen). IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – Vol. 445. – P. [1–5].
4. Системный анализ и мониторинг энерготехнологических комплексов. Методические указания по выполнению курсового проекта для студентов направления 21.04.01 Нефтегазовое дело программы «Надежность и безопасность объектов транспорта углеводородных ресурсов» всех форм обучения / Сост. М. Ю. Земенкова [и др.]; Тюменский индустриальный университет. – Тюмень : ТИУ, 2019. – 40 с. – Текст : непосредственный.
5. Zemenkova, M. Yu. (2019). Neural network monitoring and predictive control of the reliability and safety of gas distribution networks using deep learning algorithms / M. Yu. Zemenkova. – DOI 10.1088/1757-899X/663/1/012006. – Текст : непосредственный // International Conference on Extraction, Transport, Storage and Processing of Hydrocarbons and Minerals, 19–20 August 2019 (Tyumen). IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – Vol. 663 (1). – P. [1–8].
6. Zemenkova, M. Y. Mathematic Modeling of Complex Hydraulic Machinery Systems When Evaluating Reliability Using Graph Theory / M. Y. Zemenkova, A. N. Shipovalov, Y. D. Zemenkov. – DOI 10.1088/1757-899X/127/1/012056. – Текст : непосредственный // International Scientific and Practical Conference on Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering 17–18 December 2015 (Yurga). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Vol. 127. – P. [1–9].
7. Энерготехнологические комплексы при проектировании и эксплуатации объектов транспорта и хранения углеводородного сырья : учебник для студентов / Ю. Д. Земенков, Б. В. Моисеев, Ю. В. Богатенков [и др.]; под общей редакцией Б. В. Моисеева; Министерство образования и науки Российской Федерации, Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень : Вектор Бук, 2016. – 256 с. – Текст : непосредственный.
8. Golik, V. V. Complex thermophysical modeling of processes in the foundation soil of oil pipelines in the Arctic and offshore conditions / V. V. Golik, Yu. D. Zemenkov, I. F. Shagbanov. – DOI 10.1088/1757-899X/952/1/012014. – Текст : непосредственный // International Conference on Extraction, Transport, Storage and Processing of Hydrocarbons & Materials (ETSaP 2020) 24–25 August 2020 (Tyumen). IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – Vol. 952. – P. [1–5].
9. Improving the Efficiency of Administrative Decision-Making when Monitoring Reliability and Safety of Oil and Gas Equipment / M. Zemenkova, V. Shalay, Y. Zemenkov, E. Kurushina. – DOI 10.1051/mateconf/20167307001. – Текст : непосредственный // MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 73. – P. [1–8].
10. Tabunschikov, Yu. A. Mathematical models of thermal conditions in buildings / Yu. A. Tabunschikov. – USA, CRC Press, 1993. – 220 p. – Текст : непосредственный.

11. Innovative technologies as a means of the development of future engineers' professional mobility abroad / M. B. Balikaeva, E. L. Chizhevskaya, G. Ya. Grevtseva [et al.]. – DOI 10.1088/1757-899X/441/1/012007. – Текст : непосредственный // International Scientific and Practical Conference on Innovations in Engineering and Technology, 28–29 June 2018 (Veliky Novgorod). IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – Vol. 441. – P. [1–5].
12. Голубин, С. И. Научно-методические основы прогноза взаимодействия подземных газопроводов с засоленными многолетнемерзлыми грунтами полуострова Ямал : специальность 25.00.08 «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Голубин Станислав Игоревич. – Москва, 2012. – 23 с. – Место защиты : Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (РГГРУ). – Текст : непосредственный.
13. Губайдуллин, А. А. Приложения механики многофазных систем к разведке, добыче и транспорту нефти и газа / А. А. Губайдуллин. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1999. – № 2. – С. 49–61.
14. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент : справочник / Под общей редакцией В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 512 с. – Текст : непосредственный.
15. Mathematical modelling of the interaction of a multilayer pipeline with permafrost in RF Arctic zone / V. V. Golik, B. V. Moiseev, A. A. Gladenko [et al.]. – Текст : электронный // AIP Conference Proceedings 28 August 2019. – Vol. 2141, Issue 1. – URL: <https://doi.org/10.1063/1.5122161>.
16. Mathematic simulation of the effect of a buried oil pipeline on permafrost soils / V. V. Golik, B. V. Moiseev, S. G. Gulkova, Yu. D. Zemenkov. – DOI 10.1088/1757-899X/445/1/012004. – Текст : непосредственный // International Conference Transport and Storage of Hydrocarbons, 29–31 August 2018 (Tyumen). IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – Vol. 445. – P. [1–5].
17. Thermal impact of buried reservoirs with industrial waste of the fuel and energy complex on frozen soils / M. Yu. Zemenkova, P. Yu. Mikhailov, A. B. Shabarov, U. Yu. Shastunova. – DOI 10.1088/1757-899X/952/1/012008. – Текст : непосредственный // International Conference on Extraction, Transport, Storage and Processing of Hydrocarbons & Materials, 24–25 August 2020 (Tyumen). IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – Vol. 952 (1) – P. [1–8].
18. Аспекты надежности и диагностики нефтегазовых объектов : монография / Б. В. Моисеев, Ю. Д. Земенков, М. Н. Чекардовский [и др.] ; под общей редакцией Ю. Д. Земенкова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тюменский индустриальный университет. – Тюмень : ТИУ, 2019. – 422 с. – Текст : непосредственный.
19. Yakupov, A. U. Temperature condition of a stopped underground oil pipeline / A. U. Yakupov, K. S. Voronin, D. A. Cherentsov. – DOI 10.1088/1757-899X/663/1/012013. – Текст : непосредственный // International Conference on Extraction, Transport, Storage and Processing of Hydrocarbons and Minerals 19–20 August 2019 (Tyumen). IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – Vol. 663. – P. [1–6].

## References

1. Golik, V. V., Zemenkov, Yu. D., & Gladenko, A. A. (2020). Monitoring teplofizicheskikh parametrov magistral'nykh trubopro-vodov v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh arkticheskoy zony RF. *Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva. Materialy 10-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva"* (Omsk, February, 26-29). Omsk, Omsk State Technical University Publ., pp. 230-231. (In Russian).
2. Moiseev, B. V., Kushakova, N. P., Nalobin, N. V. Moiseev, B. V., Kushakova, N. P., & Nalobin, N. V. (2002). Mathematical modeling of non-stationary temperature interaction of heat pipelines and seasonally freezing soils. *Composite building materials: Collection of scientific papers of the international scientific-practical conference*. Penza, PenzGASA Publ., pp. 261-264. (In Russian).

3. Golik, V. V., Moiseev, B. V., Gulkova, S. G., & Zemenkov, Yu. D. (2018). Mathematic simulation of the effect of a buried oil pipeline on permafrost soils. International Conference Transport and Storage of Hydrocarbons, August, 29-31 (Tyumen). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 445, pp. [1-5]. (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/445/1/012004
4. Zemenkova, M. Yu. (Comp.) (2019). Sistemnyy analiz i monitoring energotekhnologicheskikh kompleksov. Metodicheskie ukazaniya po vypolneniyu kursovogo proekta dlya studentov napravleniya 21.04.01 Neftegazovoe delo programmy "Nadezhnost' i bezopasnost' ob'ektov transporta uglevodorodnykh resursov" vseh form obucheniya. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 40 p. (In Russian).
5. Zemenkova, M. Yu. (2019). Neural network monitoring and predictive control of the reliability and safety of gas distribution networks using deep learning algorithms. International Conference on Extraction, Transport, Storage and Processing of Hydrocarbons and Minerals, August, 19-20 (Tyumen). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 663 (1), pp. [1-8]. (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/663/1/012006
6. Zemenkova, M. Y., Shipovalov, A. N., & Zemenkov, Y. D. (2015). Mathematic Modeling of Complex Hydraulic Machinery Systems When Evaluating Reliability Using Graph Theory. International Scientific and Practical Conference on Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering December, 17-18 (Yurga). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 127, pp. [1-9]. (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/127/1/012056
7. Zemenkov, Yu. D., Moiseev, B. V., Bogatenkov, Yu. V., Nalobin, N. V., & Dudin, S. M. (2016). Energotekhnologicheskie komplekсы pri proektirovanii i ekspluatatsii ob'ektov transporta i khraneniya uglevodorodnogo syr'ya. Tyumen, Vektor Buk Publ., 256 p. (In Russian).
8. Golik, V. V., Zemenkov, Yu. D., & Shagbanov, I. F. (2020). Complex thermophysical modeling of processes in the foundation soil of oil pipelines in the Arctic and offshore conditions. International Conference on Extraction, Transport, Storage and Processing of Hydrocarbons & Materials (ETSaP 2020), August, 24-25 (Tyumen). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 952, pp. [1-5]. (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/952/1/012014
9. Zemenkova, M., Shalay, V., Zemenkov, Y., & Kurushina, E. (2016). Improving the Efficiency of Administrative Decision-Making when Monitoring Reliability and Safety of Oil and Gas Equipment. MATEC Web of Conferences, 73, pp. [1-8]. (In English). DOI: 10.1051/mateconf/20167307001
10. Tabunschikov, Yu. A. (1993). Mathematical models of thermal conditions in buildings. USA, CRC Press, 220 p. (In English).
11. Balikaeva, M. B., Chizhevskaya, E. L., Grevtseva, G. Ya., Kotlyarova, I. O., & Volkova, M. A. (2018). Innovative technologies as a means of the development of future engineers' professional mobility abroad. International Scientific and Practical Conference on Innovations in Engineering and Technology, June, 28-29 (Veliky Novgorod). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 441, pp. [1-5]. (In English). DOI 10.1088/1757-899X/441/1/012007
12. Golubin, S. I. (2012). Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza vzaimodeystviya podzemnykh gazoprovodov s zasolennymi mnogoletnemerzlymi gruntami poluostrova Yamal. Avtoref. diss. ... kand. geol.-mineral. nauk. Moscow, 23 p. (In Russian).
13. Gubaydullin, A. A. (1999). Prilozheniya mekhaniki mnogofaznykh sistem k razvedke, dobyche i transportu nefi i gaza. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz, (2), pp. 49-61.
14. Grigor'ev, V. A., & Zorin, V. M. (Eds.) (1982). Teplo- i massobmen. Teplotekhnicheskii eksperiment : spravochnik. Moscow, Energoizdat Publ., 512 p. (In Russian).
15. Golik, V. V., Moiseev, B. V., Gladenko, A. A., Zemenkov, Yu. D., & Trifonova, E. N. (2019). Mathematical modelling of the interaction of a multilayer pipeline with permafrosts in RF Arctic zone. AIP Conference Proceedings, August, 28, 2141(1). (In English). Available at: <https://doi.org/10.1063/1.5122161>
16. Golik, V. V., Moiseev, B. V., Gulkova, S. G., & Zemenkov, Yu. D. (2018). Mathematic simulation of the effect of a buried oil pipeline on permafrost soils. International Conference Transport and Storage of Hydrocarbons, August, 29-31 (Tyumen). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 445, pp. [1-5]. (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/445/1/012004

17. Zemenkova, M. Yu., Mikhailov, P. Yu., Shabarov, A. B., & Shastunova, U. Yu. (2020). Thermal impact of buried reservoirs with industrial waste of the fuel and energy complex on frozen soils. International Conference on Extraction, Transport, Storage and Processing of Hydrocarbons & Materials, 24-25 August 2020 (Tyumen). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 952 (1), pp. [18]. (In English). DOI 10.1088/1757-899X/952/1/012008
18. Moiseev, B. V., Zemenkov, Yu. D., Chekardovskiy, M. N., Chekardovskiy, S. M., Zemenkova, M. Yu., Razboynikov A. A.,... Fedorova, O. B. (2019). Aspekty nadezhnosti i diagnostiki neftegazovykh ob"ektov. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 422 p. (In Russian).
19. Yakupov, A. U., Voronin, K. S., & Cherentsov, D. A. (2019). Temperature condition of a stopped underground oil pipeline. International Conference on Extraction, Transport, Storage and Processing of Hydrocarbons and Minerals, August, 19-20 (Tyumen). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 663, pp. [1-6]. (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/663/1/012013

#### **Сведения об авторах**

**Голик Василий Викторович**, старший преподаватель кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: darkpaint@mail.ru

**Земенков Юрий Дмитриевич**, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

**Земенкова Мария Юрьевна**, к. т. н., доцент кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

**Чижевская Елена Леонидовна**, к. э. н., доцент кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

**Воронин Константин Сергеевич**, к. т. н., доцент кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

#### **Information about the authors**

**Vasily V. Golik**, Senior Lecturer at the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen, e-mail: darkpaint@mail.ru

**Yuri D. Zemenkov**, Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen

**Maria Yu. Zemenkova**, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen

**Elena L. Chizhevskaya**, Candidate of Economics, Associate Professor at the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen

**Konstantin S. Voronin**, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Transportation of Hydrocarbon Resources, Industrial University of Tyumen