

Влияние климатических изменений на условия эксплуатации магистральных нефтепроводов

Impact of climate change on operating conditions of main oil pipeline

Юрий Кайнов

Заместитель заведующего лабораторией математического моделирования внешних воздействий на объекты мониторинга, ООО «НИИ «Транснефть»
E mail: KaynovYA@niitnn.transneft.ru

Yuri KAINOV

Deputy Head of the Laboratory of Mathematical Modeling of External Impacts on Monitoring Facilities, Research Institute of Transneft
E mail: KaynovYA@niitnn.transneft.ru

Алексей Коротков

Заведующий лабораторией математического моделирования внешних воздействий на объекты мониторинга, к. т. н., ООО «НИИ «Транснефть»
E mail: KorotkovAA@niitnn.transneft.ru

Alexey KOROTKOV

Head of the Laboratory of Mathematical Modeling of External Impacts on Monitoring objects, Candidate of Technical Sciences, Research Institute of Transneft
E mail: KorotkovAA@niitnn.transneft.ru

Рис. 1. Схема расположения нефтепроводов ПАО «Транснефть»



Аннотация. В статье рассматриваются вопросы обеспечения безопасной эксплуатации магистральных нефтепроводов в условиях изменяющегося климата на примере анализа влияния изменения температуры воздуха на геокриологическую обстановку. Проведены анализ изменения климатических параметров и условий работы термостабилизаторов грунтов, а также анализ влияния климата на условия эксплуатации магистральных нефтепроводов. Приведены предложения по учету изменения климатических параметров при прогнозировании технического состояния магистральных нефтепроводов.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, изменения климата, тепловой режим грунтов, сложные природно-климатические условия, многолетнемерзлые грунты.

Abstract. The article discusses the issues of ensuring the safe operation of trunk oil pipelines in a changing climate by analyzing the impact of air temperature changes on the geocryological situation. The analysis of changes in climatic parameters and operating conditions of soil thermostabilizers, as well as the analysis of the influence of climate on the operating conditions of main oil pipelines, has been carried out. The proposals on taking into account changes in climatic parameters when forecasting the technical condition of main oil pipelines are presented.

Keywords: main oil pipeline, climate change, soils thermal regime, difficult natural and climatic conditions, permafrost.



Общая протяженность магистральных нефтепроводов, эксплуатирующихся организациями системы «Транснефть», составляет более 67 тыс. км

ПАО «Транснефть» является крупнейшей в мире трубопроводной компанией в области транспортировки нефти и нефтепродуктов. Общая протяженность магистральных нефтепроводов, эксплуатирующихся организациями системы «Транснефть», составляет более 67 тыс. км. География нефтепроводов и нефтепродуктопроводов настолько широка, что затрагивает практически каждый субъект Российской Федерации с различными природно-климатическими условиями, зачастую сложными и уникальными (рис. 1).

Организациями системы «Транснефть» эксплуатируются надземные (рис. 2) и подземные магистральные нефтепроводы, причем подземные нефтепроводы экс-

плуатируются как с опиранием на грунт или скальную породу (рис. 3), так и на подземные подвесные опоры нефтепровода (рис. 4).

Необходимость эксплуатации магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов в районах со сложными природно-климатическими условиями ставит вопрос изучения изменений климата и влияния этих процессов на эксплуатацию магистральных нефтепроводов. Только анализ изменений климата позволит адаптировать технические решения по прокладке магистральных нефтепроводов к фактическим условиям эксплуатации. Необходимо отметить, что результаты климатических наблюдений и модельные прогнозы климата не всегда доступны с требуемой территориальной и/или временной детализацией. Данная проблема актуальна не только для субъектов Российской Федерации, но и для многих регионов мира [1] с учетом местной специфики.

При проведении анализа влияния изменений климата на условия эксплуатации магистральных нефтепроводов необходимо в первую очередь определить взаимосвязь между контролируемыми климатическими параметрами и изменением условий эксплуатации магистральных нефтепроводов. При этом следует различать изменение условий эксплуатации для магистральных нефтепроводов, расположенных на многолетнемерзлых грунтах, и магистральных нефтепроводов,



Рис. 2. Участок магистрального нефтепровода, расположенный надземно на опорах

расположенных на талых грунтах. В рамках настоящей статьи рассмотрим только магистральные нефтепроводы, расположенные на многолетнемерзлых грунтах, так как они являются одними из наиболее сложных с точки зрения обеспечения безопасной эксплуатации. Протяженность таких участков составляет 611 км при общей протяженности нефтепроводов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов в 7 075 км (магистральные нефтепроводы, проложенные в районах распространения многолетнемерзлых грунтов, отмечены на рис. 1 синим пунктиром).

«Транснефть» эксплуатирует надземные и подземные нефтепроводы, причем подземные нефтепроводы эксплуатируются как с опиранием на грунт, так и на подземные подвесные опоры

Взаимосвязь между контролируемыми климатическими параметрами и изменением условий эксплуатации магистральных нефтепроводов предлагается рассматривать по следующим группам:

1. Изменение теплового баланса в системе «грунт – атмосфера». В рамках настоящей статьи для данной группы рассмотрим следующие зависимости:
 - изменение температуры грунтов вследствие изменения температуры наружного воздуха;
 - изменение глубины деятельного слоя грунтов (слоя сезонного промерзания и слоя сезонного оттаивания) вследствие изменения температуры наружного воздуха;
 - изменение теплообмена на границе «грунт – воздух» вследствие изменения толщины и продолжительности залегания снежного покрова.
2. Изменение условий работы технических средств. В рамках настоящей статьи для данной группы рассмотрим следующие зависимости:
 - изменение холодопроизводительности термостабилизаторов



Рис. 3. Участок магистрального нефтепровода, расположенный подземно с опиранием на грунт



Рис. 4. Участок магистрального нефтепровода, расположенный подземно на подвесных опорах

грунтов вследствие изменения скорости ветра и температуры наружного воздуха;

- изменение продолжительности работы термостабилизаторов грунтов в зимний период вследствие изменения температуры наружного воздуха.

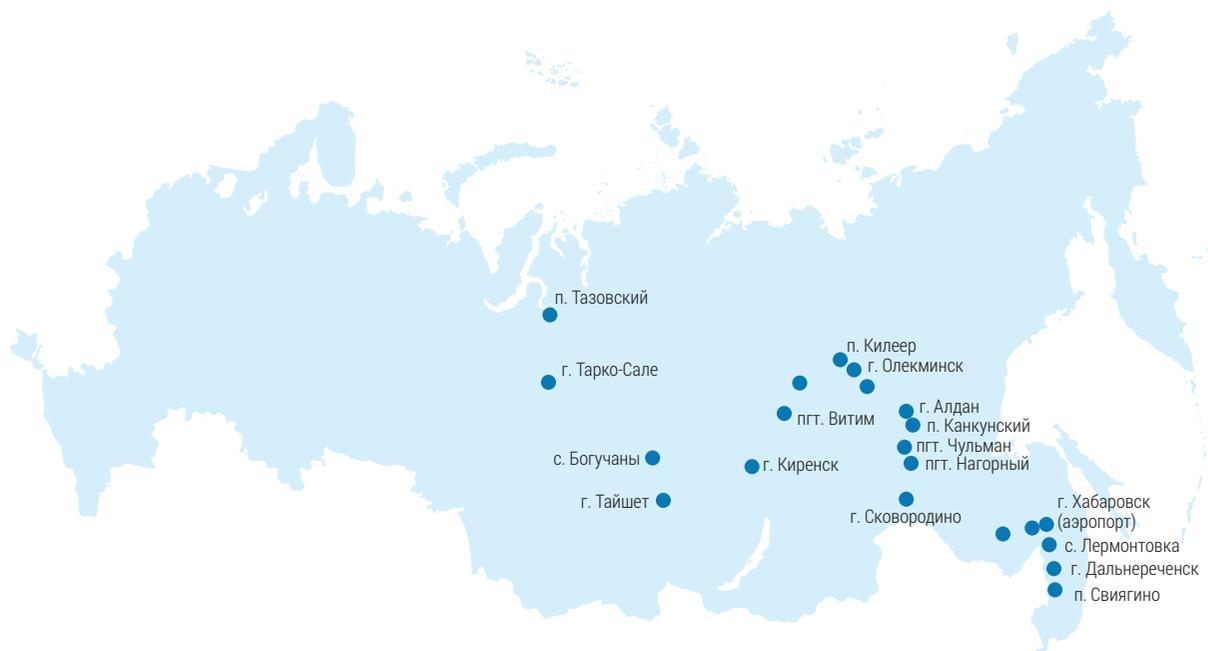
Рассмотрим каждую подгруппу более подробно.

Изменение температуры грунтов вследствие изменения температуры наружного воздуха

В работе [2] проведен анализ изменений среднемесячной и среднегодовой температур наружного воздуха на основании данных метеонаблюдений на 21 метеостанции, которые расположены в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов магистральных нефтепроводов «ВСТО-1», «ВСТО-2», «Заполярье – НПС «Пурпе» и «Куюмба – Тайшет», входящих в перечень Всемирной метеорологической организации за период с 1966 по 2021 гг. (рис. 5). По результатам анализа установлено, что на всех рассматриваемых метеостанциях

за период наблюдений температура имеет тренд к повышению. Среднеголетняя динамика повышения температуры наружного воздуха для рассматриваемых метеостанций составляет от 0,028 °С/год до 0,067 °С/год, что соответствует повышению от 0,84 до 2,01 °С за 30 лет и от 1,40 до 3,35 °С за 50 лет, т. е. повышение температуры воздуха может достигать более 3 °С за период эксплуатации магистральных нефтепроводов (магистральные нефтепроводы «Уренгой – Холмогоры» и «Тарасовское – Муравленковское» введены в эксплуатацию в 1987 г. и эксплуатируются по настоящее время). Многолетняя тенденция повышения температуры наружного воздуха приводит к изменению теплового баланса и создает условия для повышения температуры грунтов, что, в свою очередь, может приводить к негативным последствиям при эксплуатации магистральных нефтепроводов. Во-первых, для магистральных нефтепроводов, проложенных надземным или подземным способом с использованием свайных опор, повышение температуры многолетнемерзлых грунтов приводит к снижению несущей способности свайного основания. Расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности, которое является

Рис. 5. Карта расположения метеостанций, результаты замеров на которых использованы при проведении исследований в рамках работы [2]



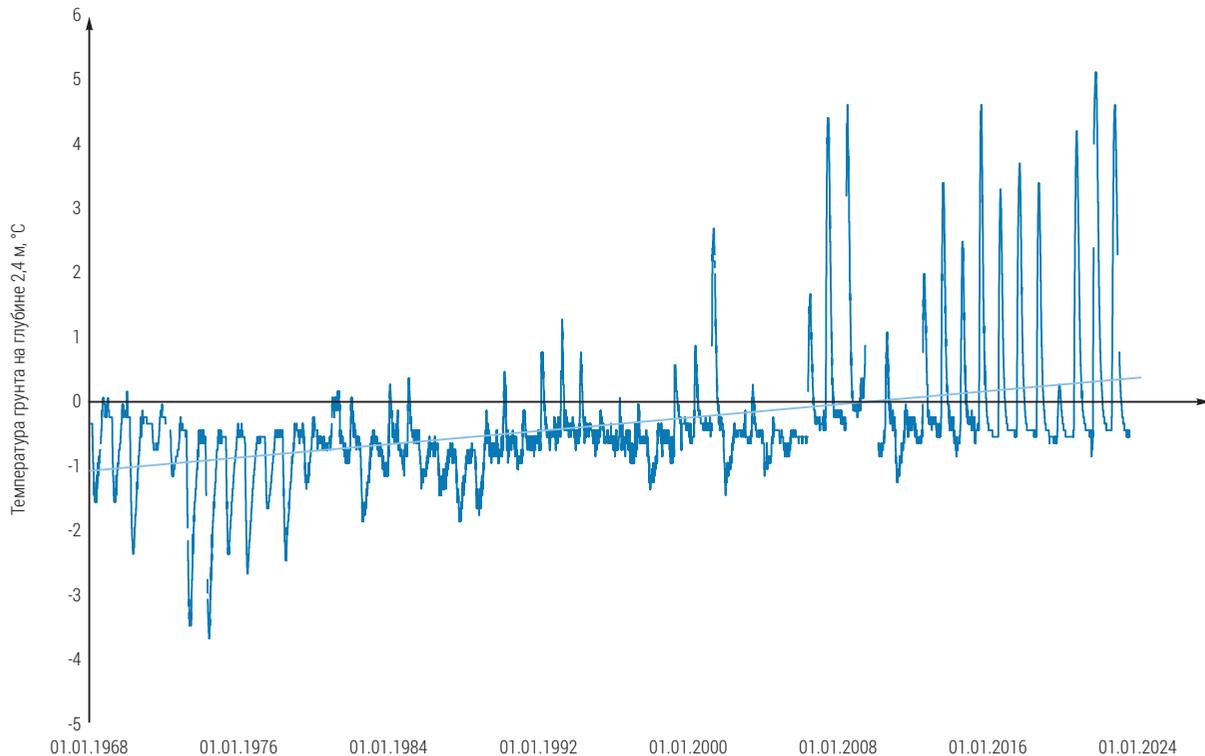


Рис. 6. Многолетняя динамика изменения температуры грунта на глубине 2,4 м

Источник: по данным метеостанции г. Якутск

составляющей несущей способности свайного основания, обратно пропорционально температуре грунта. Во-вторых, для магистральных нефтепроводов, проложенных подземным способом без использования свайных опор, повышение температуры многолетнемерзлых грунтов приводит к увеличению скорости развития ореолов оттаивания под нефтепроводом, что, в свою очередь, может привести к увеличенным (непроектным) просадкам нефтепровода.

Изменение глубины деятельного слоя грунтов (слоя сезонного промерзания и слоя сезонного оттаивания) вследствие изменения температуры наружного воздуха

Изменение температуры наружного воздуха также влияет на изменение глубины слоя сезонного оттаивания и слоя сезонного промерзания. Для магистральных нефтепроводов, проложенных на опорах, данный факт приводит к необходимости учета изменения глубины деятельного

слоя в период эксплуатации магистрального нефтепровода при расчете несущей способности свай.

По результатам анализа изменений температуры грунта на различных глубинах по данным 13 метеостанций, расположенных на территории Республики Саха (Якутия), установлено, что на 10 из 13 метеостанций в диапазоне глубин 1,6 м, 2,4 м и 3,2 м зафиксировано многолетнее повышение максимальной температуры грунтов в течение года, что, при расположении границ сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоя на данных глубинах, свидетельствует об увеличении сезонно-талого слоя (для многолетнемерзлых грунтов сливающегося типа) и об уменьшении сезонно-мерзлого слоя (для талых и многолетнемерзлых грунтов несливающегося типа). Многолетняя динамика изменений температуры грунта на глубине 2,4 м по данным метеостанции г. Якутск приведена на рис. 6. Пропуски на графике означают отсутствие доступных измерений по данным с метеостанции. На данном графике явно прослеживается смещение границы сезонно-талого слоя на глубину более 2,4 м. За период до 1985 г. на глубине 2,4 м грунты преимущественно находились



Укладка подземного нефтепровода

Источник: gazprom.ru

при отрицательных температурах, при ее амплитуде на данной глубине более 3 °С. Данный факт может свидетельствовать о том, что большинство тепла, попадающего в грунт в теплый период года, ушло на его нагрев до температур фазового перехода, однако на переход грунта в талое состояние данного тепла не хватало (граница сезонно-талого слоя располагалась выше 2,4 м). С 1985 г. по начало 2000-х гг. амплитуда годовых колебаний температуры резко сократилась при приближении температур грунта к 0 °С. Начиная с 2005 г., амплитуда годовых колебаний температуры вновь возросла при устой-

чивом переходе грунтов в талое состояние в летние периоды с сохранением многолетнего тренда увеличения температуры. Данный факт может свидетельствовать о том, что тепла, поступающего в грунт, достаточно для перевода его в талое состояние и дальнейшего нагрева (граница сезонно-талого слоя устойчиво располагается ниже глубины 2,4 м).

Изменение теплообмена на границе «грунт – воздух» вследствие изменения толщины и периода залегания снежного покрова

Снежный покров, формируемый в зимний период, оказывает сильное теплоизоляционное влияние на границе «грунт – воздух». При этом, помимо «прямого» изменения теплообмена на границе «грунт – воздух», снег может оказывать косвенное влияние на теплообмен при изменении эффективной теплопроводности грунтов в период оттаивания снежного покрова, поступления оттаявшей воды в грунт, и изменения альбедо поверхности ввиду изменения периода года, в который снежный покров залегает.

Среднемноголетняя динамика повышения температуры воздуха для рассматриваемых метеостанций составляет от 0,028°С/год до 0,067°С/год, что соответствует повышению от 0,84 до 2,01°С за 30 лет

При анализе данных метеостанций в различных субъектах Российской Федерации не выявлено закономерности изменения толщины снежного покрова и продолжительности его залегания. Например, по данным метеостанции г. Сковородино с 2017 по 2021 гг. (рис. 7) ежегодно фиксировалось увеличение максимальной толщины снежного покрова при отсутствии общей тенденции изменения продолжительности его залегания.

При этом зависимость между изменением толщины снежного покрова и изменением температуры подстилающих грунтов нелинейна. В соответствии с учебником [3], снежный покров в значительной степени изменяет характер радиационно-теплового баланса на поверхности. Снежный покров оказывает два основных воздействия:

- охлаждающая роль снега за счет высокого альбедо по сравнению с поверхностью грунтов;
- теплоизолирующая роль за счет низкой теплопроводности снега.

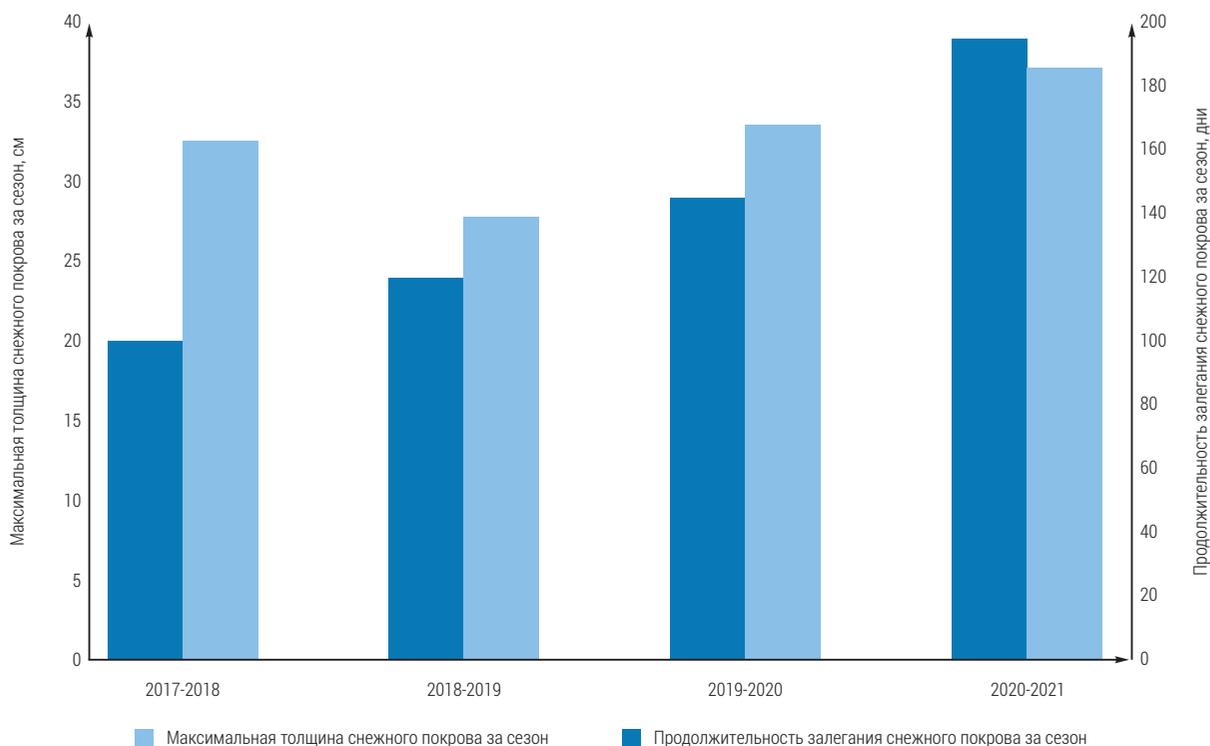
При малой мощности снега преобладает его роль как отражателя солнечных лучей, а теплоизолирующие свойства незначительны. Снег в этом случае является охлаждающим фактором. При увеличении

По данным 13 метеостанций в Якутии установлено, что на 10 из них на глубинах 1,6 м, 2,4 м и 3,2 м зафиксировано многолетнее повышение максимальной температуры грунтов в течение года

мощности снега до определенных величин преобладает его отепляющее влияние. При последующем увеличении мощности снега до определенных величин большое количество тепла идет на его таяние, и значительная часть солнечных лучей отражается его поверхностью. Кроме того, мощный слой снега требует продолжительного периода для полного таяния, в течение которого держится на поверхности земли нулевая температура. В итоге снег в этом случае является охлаждающим фактором для грунтов. При последующем увеличении слоя снега, с определенной величины

Рис. 7. Изменение максимальной толщины снежного покрова и периода года, в который снежный покров существует

Источник: по данным метеостанции г. Сковородино



мощности он не успеваает растаять в летний период. Образуются снежники и ледники, поверхность которых круглый год отражает значительную часть солнечных лучей, в результате чего верхний слой литосферы ещё более охлаждается, однако, магистральные нефтепроводы, эксплуатируемые организациями системы «Транснефть», не проложены в таких районах.

Условия эксплуатации протяженных линейных объектов, в том числе магистральных нефтепроводов, изменчивы. Это иллюстрирует пример различного снежного покрова на смежных участках нефтепровода, расположенных на склонах, ориентированных на юг и на север, на возвышен-

постов снегомерной съемки, а возможно и автоматизированных метеостанций с последующим проведением дополнительных исследований на основании полученных данных.

Изменение холодопроизводительности термостабилизаторов грунтов вследствие изменения скорости ветра и температуры наружного воздуха

Холодопроизводительность термостабилизаторов грунта зависит в первую очередь от теплообмена между конденсаторной частью и наружным воздухом. Теплообмен, в свою очередь, зависит как от температуры наружного воздуха, так и от скорости ветра. Результаты анализа изменения скорости ветра на рассмотренных метеостанциях не показывают какого-либо однозначного изменения в большую или меньшую сторону в течение года, в отличие от температуры наружного воздуха. Как было показано выше, за период с 1966 по 2021 гг. на всех рассматриваемых метеостанциях за период наблюдений температура наружного воздуха имеет тренд к повышению. При этом количество отрицательных градусочасов работы ТСГ ежегодно сокращается на величину от 60,33 °C в час/год до 401,75 °C в час/год, что соответствует на величину от 1 810 до 12 053 °C в час за 30 лет, и от 3 017 до 20 088 °C в час за 50 лет. Если принять в качестве среднемноголетнего количества отрицательных градусочасов среднее значение за последние 20 лет, то сокращение количества отрицательных градусочасов работы ТСГ достигает 14% за 30 лет и 23% за 50 лет. На рис. 8 приведено изменение отрицательных градусочасов по данным метеостанции п. Тазовский. В качестве температуры включения термостабилизатора грунта была определена температура -7 °C. В зависимости от используемых на объектах термостабилизаторов грунта данная температура может отличаться в большую или меньшую сторону. Кроме того, прослеживается взаимосвязь уменьшения количества отрицательных градусочасов работы ТСГ по тренду от градуса северной



Нефтепровод «Заполярье – Пурпе» системы «Транснефть»
Источник: sibmix.com

ностях и в долинах рек, что сильно влияет на процесс накопления и схода снежного покрова. Следует отметить, что изменение условий формирования снежного покрова может быть вызвано объектами нефтепроводов и изменением микроформ рельефа (канавы, насыпи и т. п.). Приведенные обстоятельства не позволяют при моделировании каждого отдельного участка трассы магистрального нефтепровода принимать результаты снегомерной съемки на метеостанциях, входящих в перечень Всемирной метеорологической организации, без поправок. Таким образом, для определения динамики изменения параметров снежного покрова требуется обустройство вдоль трасс магистральных нефтепроводов

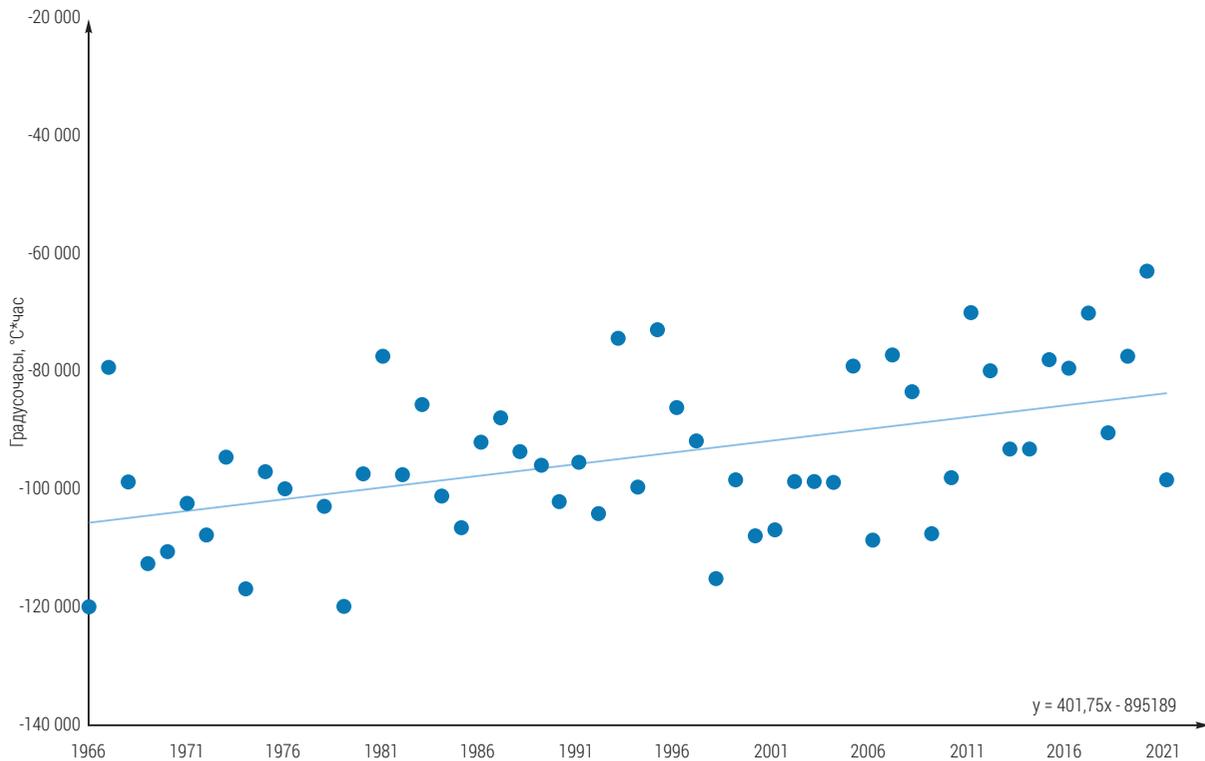


Рис. 8. Изменение количества отрицательных градусочасов работы термостабилизаторов грунта

Источник: по данным метеостанции п. Тазовский

широты расположения метеостанции – чем севернее метеостанция, тем больше уменьшение количества отрицательных градусочасов работы термостабилизаторов грунта.

Изменение продолжительности работы термостабилизаторов грунтов в зимний период вследствие изменения температуры наружного воздуха

Кроме изменения холодопроизводительности термостабилизаторов грунта, рассмотренного выше, изменения климата также влияют и на период их работы в течение года. Данный факт свидетельствует как о том, что период, в течение которого холод поступает в грунт, сокращается, так и о том, что период, когда тепло поступает в грунт ввиду «отключения» термостабилизаторов грунта, увеличивается. Например, по данным метеостанции Тарко-Сале, продолжительность работы термостабилизаторов грунта сокращается на 0,25 дн./год, по данным метеостанции Чульман – на 0,16 дн./год. Таким образом,

за 30 лет эксплуатации магистральных нефтепроводов продолжительность работы термостабилизаторов по данным рассматриваемых метеостанций сократится на величину до 4% от средних значений за последние 20 лет, а за 50 лет – до 7%. При этом, помимо общей тенденции к сокращению продолжительности работы термостабилизаторов грунта, выявлено их циклическое изменение по закону, близкому к гармоническому, с периодом колебаний 15–20 лет. На рис. 9 приведено изменение продолжительности работы термостабилизаторов грунта в течение

Изменение климата влияет на условия эксплуатации магистральных нефтепроводов, и его необходимо учитывать еще на стадии проектирования путем формирования гипотез и сценариев

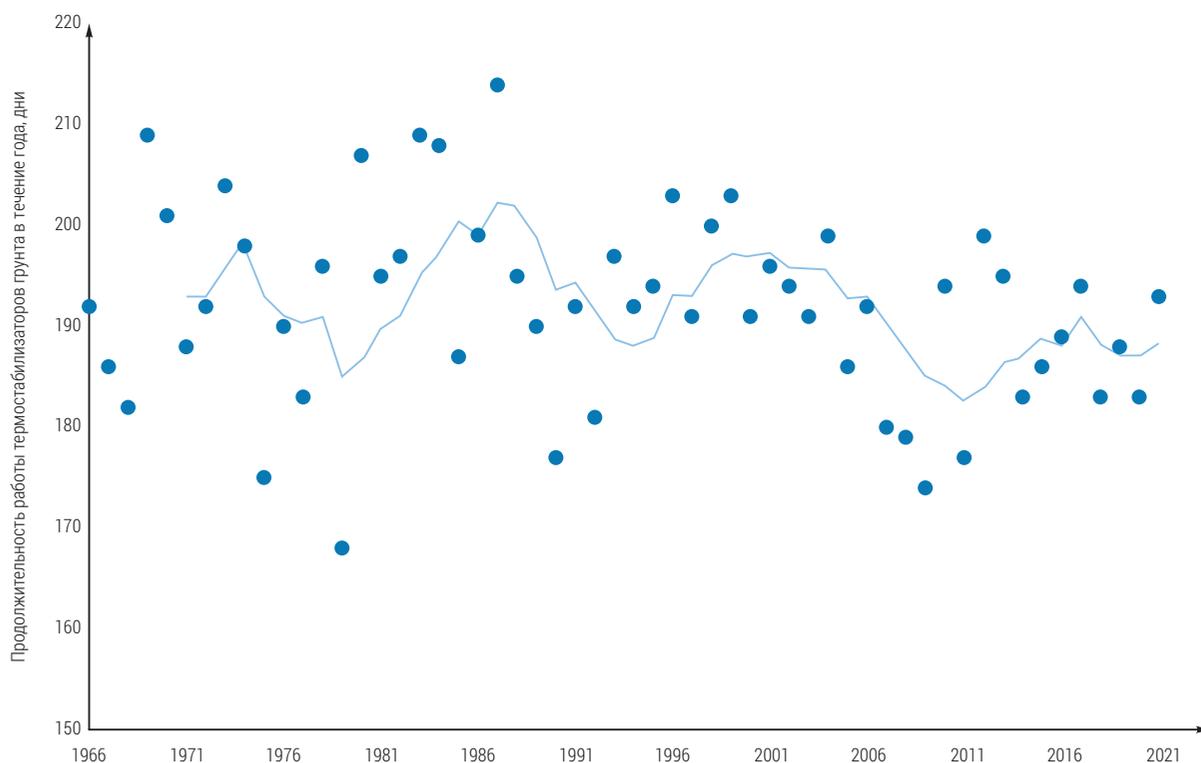


Рис. 9. Изменение продолжительности работы термостабилизаторов грунта

Источник: по данным метеостанции п. Тазовский

года и его сглаживание методом скользящего среднего за период 6 лет.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что изменение климата влияет на условия эксплуатации магистральных нефтепроводов, и его необходимо учитывать на стадии проектирования путем формирования гипотез/сценариев.

Кроме того, нормативными документами федерального уровня устанавливаются требования к необходимости учета изменяющегося климата. Данные требования устанавливаются как в нормативных документах, выпущенных более 30 лет назад, так и в новых, выпускаемых в настоящее время.

РСН 67–87 [4] определено, что составление прогноза изменений температурного режима грунтов является необходимым элементом инженерно-геологического обоснования строительства (реконструкции, расширения) объектов народного хозяйства в районах распространения вечномерзлых грунтов. При этом установлена необходимость использования изменяющихся во времени климатических параметров при прогнозировании температурного режима многолетнемерзлых грунтов.

СП 116.13330 [5] требует учитывать потепление климата на период эксплуатации строительных объектов.

СП 36.13330 [6] требует учитывать такие климатические параметры, как температура наружного воздуха, скорость ветра, солнечная радиация.

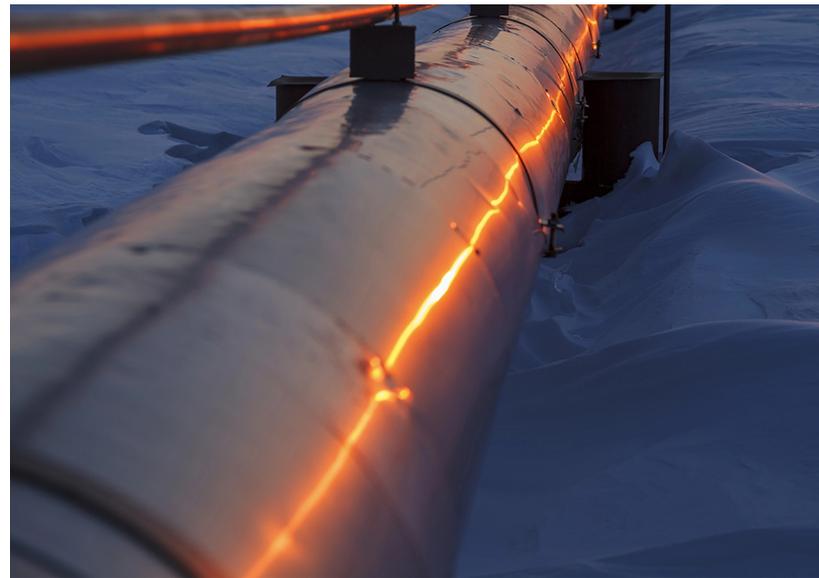
ГОСТ Р ИСО 14090 [1] определены основные принципы, требования и рекомендации, связанные с адаптацией к изменениям климата. При этом указано, что в первую очередь важно провести оценку риска, основанную на тенденциях изменения климата и климатических явлениях, произошедших за прошедший временной период, а затем сосредоточиться на анализе рисков, связанных с климатическими трендами и климатическими явлениями, прогнозируемыми на весь срок действия принятого решения.

СП 25.13330 [7] определено, что прогноз воздействия объектов строительства на природные условия осуществляется на весь период строительства и эксплуатации зданий и сооружений, и должен устанавливать возможность изменения теплового режима многолетнемерзлых грунтов района строительства и прилегающих территорий вследствие изменения климата.

Рассмотренные выше нормативные документы указывают на необходимость прогнозирования климатических параметров на будущий период, однако в нормативных документах отсутствуют методики прогнозирования климатических параметров для отдельных объектов. При этом существуют модели прогноза изменения климата на глобальном уровне (планете в целом или отдельных континентах), однако механизмы перехода от глобальных моделей к региональным отсутствуют. Кроме того, существующие методики предполагают использование одной из существующих моделей выброса парниковых газов в атмосферу, при этом единой общепринятой модели не существует, в связи с чем прогноз климатических изменений имеет значительную вариативность, что подтверждается докладами межправительственной группы экспертов по изменению климата. Например, в пятом [8] и шестом (последнем на текущий момент) [9] докладах отражено, что к 2100 г. ожидается повышение средней глобальной приземной температуры. Только при реализации жесткого сценария смягчения воздействий парниковых газов, выбросов загрязняющих атмосферу веществ и землепользования, возможно снижение средней глобальной приземной температуры, начиная со второй половины XXI в. Но даже при реализации жесткого сценария смягчения средняя глобальная приземная температура будет выше, чем в настоящее время. Температура в Арктическом регионе будет повышаться более быстро, чем средняя глобальная величина, и при реализации сценария с очень высокими выбросами парниковых газов может достигать 12 °С к 2081–2100 гг. в сравнении с 1986–2005 гг.

СП 131.13330 [10] установлены климатические параметры по различным субъектам РФ, которые необходимо использовать при проектировании зданий и сооружений. Сравнение фактических и нормативных климатических параметров показало, что фактические параметры отличаются в худшую сторону от предлагаемых сводом правил с точки зрения сохранения многолетнемерзлых грунтов. Например, в работе [11] определены тренды изменения температуры наружного воздуха на основании данных, полученных с 85 метеостанций, расположенных в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов. По результатам анализа полученных трендов установлено, что на 83 метеостанциях превы-

шение трендов изменения среднегодовой температуры наружного воздуха данных СП 131.13330 [10] зафиксировано в период с 1980 по 1992 гг., а по 2 метеостанциям за все время наблюдений значение среднегодовой температуры воздуха выше данных, регламентированных указанным сводом правил. Данный факт говорит о том, что если при проектировании магистральных нефтепроводов руководствоваться этим сводом правил, то большую часть времени основания магистральных нефтепроводов будут находиться в менее благоприятных условиях, чем было определено при проектировании. Например, фактическая холодопроизводительность



Наземный нефтепровод на опорах

Источник: e.m.mitroshin@gmail.com / depositphotos.com

термостабилизаторов грунта за последние 20 лет меньше холодопроизводительности, учитываемой при расчетах на стадии проектирования, на величину от 16% (по данным метеостанции п. г. т. Чульман) до 46% (по данным метеостанции г. Тайшет).

Таким образом, при проектировании и эксплуатации магистральных нефтепроводов необходимо учитывать изменение климата путем прогнозирования климатических параметров, используя ряды метеонаблюдений за прошедшие периоды. Отдельно при прогнозировании условий эксплуатации магистральных нефтепроводов необходимо учитывать наличие аномально теплых или аномально холодных лет. Причем наличие таких периодов, если климатические пара-

метры в эти годы сильно отличаются от климатических параметров, заложенных при моделировании, может вносить коррективы в условия эксплуатации магистральных нефтепроводов. Например, на рис. 6 при общей тенденции увеличения максимальных температур грунта на глубине 2,4 м наблюдаются также отдельные отклонения максимальных годовых температур в течение года в большую или меньшую стороны, что может свидетельствовать, в том числе, об увеличенном (или, наоборот, уменьшенном) поступлении тепла в грунт вследствие аномально теплых и аномально холодных годов. При этом определение причин нехарактерного изменения температур грунта на различных глубинах является темой отдельных исследований.

Аномально теплые или аномально холодные года могут влиять на условия эксплуатации магистральных нефтепроводов как «в режиме реального времени», так и «отложено». Влияние «в режиме реального времени», например, может проявляться в том, что в аномально холодную бесснежную зиму свайные опоры магистральных нефтепроводов может выпучить за счет сил морозного пучения, так как сами силы будут выше «обычного», и длина сваи, по которой они действуют, будет больше, так как малое количество снега не будет препятствовать посту-

плению холода в грунт. «Отложенное» влияние, например, может проявляться в том, что в аномально теплый год грунт растеплится настолько сильно, что недопустимые просадки магистрального нефтепровода наступят ранее срока конца его эксплуатации ввиду заметного увеличения ореола оттаивания грунта, или ввиду снижения холодопроизводительности термостабилизаторов грунта они не смогут обеспечить температурный режим грунтов для требуемой несущей способности свайного основания к концу последующего летнего периода.

Ввиду того, что при среднесрочном и долгосрочном моделировании невозможно спрогнозировать наличие аномально теплых или аномально холодных лет, их возможно учитывать статистически. При этом способ учета должен зависеть от целей и задач каждой организации. Например, одним из вариантов учета является закладывание в модель аномально теплых или холодных лет с учетом частоты их повторения за прошлый период. Учитывать их целесообразно в начале и конце каждого из таких периодов в зависимости от того, когда это приведет к наихудшим последствиям для конкретного объекта. Другим вариантом может быть учет аномально теплых или холодных лет путем моделирования набора различных вариантов (различных сценари-

Использованные источники

1. ГОСТ Р ИСО 14090-2019. Адаптация к изменениям климата. Принципы, требования и руководящие указания = *Adaptation to climate change. Principles, requirements and guidelines* : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 сентября 2019 г. № 674-ст : введен впервые : дата введения 2020-01-01 / Подготовлен ООО «НИИ «Интерэккомс» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4. – Москва : Стандартинформ, 2019.
2. Ибрагимов Э.Р., Коротков А.А., Кайнов Ю.А., Григорьев Л.В., Маркин А.В. Инженерный подход к учету изменения климата при теплотехнических расчетах // Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2022 г. С. 60–67.
3. Кудрявцев В.А. Мерзлотоведение (краткий курс) : Учебник / В.А. Кудрявцев, Н.Ф. Полтев, Н.Н. Романовский, К.А. Кондратьева, В.Г. Меламед, Л.С. Гарагуля. – М.: Издательство Московского университета, 1981. С. 92.
4. РСН 67-87. Инженерные изыскания для строительства. Составление прогноза изменений температурного режима вечномерзлых грунтов численными методами : Республиканские строительные нормы : Утверждены постановлением Государственного комитета РСФСР по делам строительства от 20 августа 1987 г. № 152 : введены впервые : дата введения 1988-01-01 / разработаны производственным объединением «Стройизыскания» Госстроя РСФСР совместно с институтом Фундаментпроект Минмонтажспецстроя СССР.
5. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения = *Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. Basic principles* : Свод правил : Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. № 274 и введен в действие с 1 января 2013 г. / Исполнители - НИИОСП им. Н.М. Герсеванова - институт ОАО «НИЦ «Строительство», Национальное объединение изыскателей, ООО «Геопроект», ГП «Противокарстовая и береговая защита».
6. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы = *Trunk pipelines* : Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85 : Свод правил : Утвержден приказом Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству

ев наступления данных аномально теплых или холодных лет). На этапе эксплуатации объектов принимать управленческие решения по обеспечению их безопасной эксплуатации в зависимости от фактических климатических условий. Первый способ позволит заложить запас при проектировании, однако данный вариант более дорогой с точки зрения реализации надежных технических решений «на все случаи жизни». Второй способ менее дорогой, однако он требует быстрого реагирования на меняющуюся ситуацию и реализацию технических решений или компенсирующих мероприятий уже в ходе эксплуатации объектов. Кроме того, данный способ позволит учесть фактические грунтовые условия в основании нефтепроводов путем калибровки расчетных математических моделей по данным натурных наблюдений.

Выводы

Как показано в настоящей статье, на основании данных с метеостанций за период со второй половины XX в. по настоящее время, фактический климат имеет тренд к потеплению. Для магистральных нефтепроводов, расположенных на многолетнемерзлых грунтах, изменения климатических параметров приводят к ухудшению условий их эксплуатации. Причем

условия эксплуатации ухудшаются как напрямую, например, за счет повышения температуры наружного воздуха и, как следствие, повышения температуры грунтов, так и косвенно, за счет изменения условий работы термостабилизаторов грунта. Нормативными документами федерального уровня по проектированию и эксплуатации магистральных нефтепроводов регламентируется необходимость учета изменения климатических параметров, однако в них отсутствуют методики прогнозирования на будущий период для отдельных объектов. Изменения климатических параметров можно учитывать различными способами. С одной стороны, можно заложить большой «запас» при проектировании, который позволит сохранить магистральный нефтепровод в проектном состоянии в течение всего срока его эксплуатации вне зависимости от изменения климатических параметров. С другой стороны, данный «запас» можно сократить до минимального уровня и «в режиме реального времени» принимать управленческие решения для сохранения или приведения магистральных нефтепроводов в проектное положение. Какой из способов выбрать – каждая организация решает сама, основным условием является только обеспечение безопасности условий эксплуатации как для людей, так и для окружающей среды.

- (Госстрой) от 25 декабря 2012 г. № 108/ГС и введен в действие с 1 июля 2013 г. / Исполнители: ОАО «ВНИИСТ», ОАО «АК «Транснефть», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ООО «НИИ ТНН» и ОАО «Гипротрубопровод».
7. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах = *Soil bases and foundations on permafrost soils* : Свод правил : Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. № 915/пр и введен в действие с 1 июля 2021 г. / Исполнители: АО «НИЦ «Строительство», НИИОСП им. Н.М. Герсеванова.
 8. IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
 9. IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., DOI: 10.1017/9781009325844.
 10. СП 131.13330.2020. Строительная климатология = *Building climatology* : Свод правил : Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 декабря 2020 г. № 859/пр и введен в действие с 25 июня 2021 г. / Исполнители: НИИСФ РААСН при участии ФГБУ «ГГО».
 11. Кайнов Ю.А., Коротков А.А. Динамика изменения температуры наружного воздуха в криолитозоне РФ со второй половины XX в. по настоящее время / Под ред. д. э. н., к. т. н. О.Е. Ломакина / Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии: научное и кадровое обеспечение (9 февраля 2023 г.) и конференции «Роль образования в обеспечении гидрометеорологической безопасности в условиях меняющегося климата» (10-11 октября 2023 г.). – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2024. С. 12-21. ISBN 978-5-00227-173-3.