Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 3. С. 143−157.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (3): 143−157.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 624.131
DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-143-157 EDN: HOFOEN

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ПРОВЕТРИВАЕМОМ ПОДПОЛЬЕ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ

Дарья Викторовна Чуржакова, Андрей Алексеевич Филимонов
Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа, г. Томск, Россия

Аннотация. *Актуальность*. Одним из этапов проектирования зданий и сооружений в условиях распространения многолетнемерзлых пород является выполнение прогнозных теплотехнических расчетов для оценки изменения теплового состояния грунтов основания в период эксплуатации и выбора принципа использования многолетнемерзлых грунтов.

При проведении расчетов учитываются геологические факторы – литологическое строение, физические и теплофизические характеристики грунтов; геокриологические факторы – температуры пород, а также климатические – температура окружающей среды, скорость ветра, высота и плотность снежного покрова. Высота снежного покрова оказывает значительное влияние на естественное промерзание грунтов в зимнее время. Имеющиеся требования по очистке наметаемого снега в проветриваемом подполье часто не выполняются, что требует учета при прогнозе изменения геокриологических условий. Для зданий с проветриваемыми подпольями высота снежного покрова может изменяться в зависимости от габаритов здания, при этом принципы изменения высоты снега не нормированы. Поскольку результаты теплотехнических расчетов используются для подбора параметров свайных фундаментов и определения их несущей способности, требуется учитывать факторы, влияющие на результаты теплотехнических расчетов.

Целью исследования является определение наиболее достоверного способа задания снежного покрова в проветриваемом подполье при выполнении прогнозных теплотехнических расчетов.

В настоящей работе рассмотрены разные варианты задания снежного покрова для сооружений с проветриваемым подпольем с размерами в плане более 3 м и для вертикальных резервуаров диаметром до 25 м. Осуществлен ряд теплотехнических расчетов, проведена верификация с данными геотехнического мониторинга эксплуатируемого объекта.

Результаты. На основании выполненных расчётов определено, что высота снежного покрова влияет на результаты расчета, при использовании различных методик снегозаноса наблюдается разница температур грунтов на одинаковых глубинах, на глубине ниже 11 м изменения температур грунтов основания для всех моделей незначительны. Определены методы задания снежного покрова, имеющие наибольшую корреляцию с реальными значениями температур в основании эксплуатируемого сооружения.

Ключевые слова: снегозанос, снежный покров, проветриваемое подполье, многолетнемерзлые грунты, тепловой прогноз

Для цитирования: Чуржакова Д.В., Филимонов А.А. Оценка влияния снежного покрова в проветриваемом подполье на температурный режим грунтов

© Чуржакова Д.В., Филимонов А.А., 2024

основания // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 3. С. 143−157. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-143-157. EDN: HOFOEN

ORIGINAL ARTICLE

SNOWCOVER EFFECT IN OPEN CRAWL SPACE ON TEMPERATURE CONDITIONS OF SUBGRADE SOILS

Daria V. Churzhakova, Andrey A. Filimonov
Tomsk Research and Design Institute of Oil and Gas, Tomsk, Russia

Abstract. At building design stages in permafrost conditions, it is important to conduct thermal analysis to assess temperature changes in the operation of subgrade soils. In calculations, geological factors are considered, such as lithological structure, physical and thermal characteristics of soils, geocryological (rock temperature) and climatic (ambient temperature, wind speed, height and density of snowcover). The snowcover height has a significant impact on soil freezing in winter. Existing requirements are not often satisfied for clearing blown snow in the open crawl space, that requires consideration of changes in geocryological conditions. For buildings with open crawl space, the snowcover height depends on the building dimensions, however, the principles for changing the height are not standardized. Since the results of thermal engineering calculations are used to select the parameters of pile foundations and determine their load-bearing capacity, it is necessary consides factors influencing the calculation results of thermal engineering.

Purpose: The aim of this work is to determine the most reliable way to specify snowcover in the open crawl space to predict thermal calculations.

Methodology/approach: Different snowcover types are for considered for structures with the open crawl space with the plan dimensions over 3 m and for vertical tanks of a diameter 25 m. Thermotechnical calculations and verification with geotechnical monitoring data are carried out.

Research findings: It is shown that the snowcover height affects the calculation results, when using different methods of snow drifting. The temperature difference at the same depths and at depths below 11 m is insignificant for all types of subgrade soil. The definition methods are determined for the snowcover, that have the highest correlation with the real temperature of the subgrade soil.

Keywords: snow drift, snow cover, open crawl space, permafrost soil

For citation: Churzhakova D.V., Filimonov A.A. Snowcover effect in open crawl space on temperature conditions of subgrade soils. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (3): 143−157. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-143-157. EDN: HOFOEN

Введение

Согласно регламентам технической эксплуатации зданий и сооружений, расположенных в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов, требуется удаление наметаемого снега из проветриваемого подполья. В действительности такое требование часто не соблюдается в силу территориальной удаленности объектов, нехватки кадров, высокой интенсивности выпадения осадков и по ряду иных причин. Данный факт необходимо учитывать при проектировании и закладывать наиболее неблагоприятные условия эксплуатации, т. е. невыполнение работ по удалению снега из проветриваемого подполья.

На сегодняшний день отсутствует нормативное обоснование или рекомендации к заданию снежного покрова в проветриваемом подполье для выполнения теплотехнических расчетов сооружений с подпольем. Поэтому задание расчетной модели является зоной ответственности и исследовательской работой каждого проектировщика, который подбирает параметры снежного покрова, опираясь на собственные исследования: опытные данные, проектные аналоги и другие методы, вследствие чего выявляются разночтения и несоответствия при рассмотрении результатов расчетов схожих сооружений.

Влияние параметра снежного покрова на тепловое состояние здания достаточно хорошо изучено российскими учеными [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Некорректное задание исходных данных снежного покрова, в свою очередь, может привести к искажению результатов расчетов и даже к ошибкам проектирования: различию прогнозных температур и фактических, некорректной расчетной несущей способности фундаментов и, как следствие, развитию деформаций оснований и фундаментов [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Кроме того, некорректные результаты расчетов могут стать причиной увеличения капиталоемкости объекта строительства в виде избыточной длины или диаметра свай, установки дополнительных сезонных охлаждающих устройств (СОУ) и других мероприятий по температурной стабилизации грунтового основания. Поэтому авторы считают актуальным необходимость обоснования методов задания снежного покрова при выполнении тепловых прогнозных расчетов разного уровня сложности.

Целью исследования является подтверждение влияния снегозаноса на температурный режим грунтов основания сооружений с проветриваемым подпольем в процессе эксплуатации и обоснование наиболее достоверного способа задания снежного покрова.

Задачи исследования:

1. Рассмотреть используемые на сегодняшний день варианты задания снегового покрова в пределах проветриваемого подполья сооружений разного конструктива и назначения, при эксплуатации которых не выполняются технические регламенты, требующие осуществлять расчистку наметаемого снега в подпольях.

2. Провести расчеты разных методик задания моделей на примере одного сооружения.

3. Сравнить полученные результаты с реальным температурным распределением в основании сооружения.

4. Выделить методику корректного задания снежного покрова для выполнения прогнозных теплотехнических расчетов.

Методы исследования

Исследование было проведено в 2022–2023 гг. в АО «ТомскНИПИнефть». Первым этапом работы являлся сбор исходных данных:

1) от эксплуатирующих служб геотехнического мониторинга были предоставлены результаты замеров температур грунтов основания, высоты и плотности снежного покрова эксплуатируемых сооружений, рабочая доку-

ментация, комплекты геотехнического мониторинга и температурной стабилизации грунтов сооружений, результаты инженерных изысканий;

2) от организаций, занимающихся проектированием на многолетнемерзлых грунтах, были получены методики задания снегозаноса в моделях для выполнения теплотехнических расчетов.

В данном исследовании были рассмотрены здания и сооружения с проветриваемым подпольем из двух групп, критерием к разделению которых послужили форма в плане и габаритные размеры: здания и сооружения с проветриваемым подпольем с габаритными размерами в плане более 3 м; надземные вертикальные резервуары с проветриваемым подпольем диаметром до 25 м.

При изучении полученных данных была выявлена вариативность использования разных методик задания снежного покрова в зависимости от конструкции сооружения. По результатам анализа существующих методик было выделено 7 схем задания снегозаноса, каждая из которых предназначена для конкретных групп сооружений.

В табл. 1 представлена матрица расчетных моделей для сравнения результатов анализа методик.

Таблица 1

Матрица расчетных моделей для различных методик задания снега в проветриваемом подполье

Table 1

Calculation models for various methods of specifying snowcover in the open crawl space

Методики (схемы) задания снегозаноса		Рассматриваемые сооружения с проветриваемым подпольем	
		Сооружения с размерами в плане более 3 м	Вертикальные резервуары диаметром до 25 м
		1	2
ООО НПО «Фундаментстройаркос»			
1	Внутри подполья высота снегозаноса 0,5Х м На расстоянии 2 м от периметра сооружения (за его пределами) высота снегозаноса 2Х м	Расчетная модель № 1-1	Расчетная модель № 2-1
АО «ТомскНИПИнефть»			
2	Внутри подполья площадь сооружения разделяется на 3 зоны масштабированием периметра относительно центральной точки сооружения в плане на 1/3, 2/3, 3/3, с приложением снегозаноса высотой 0,5Х м, 0,75Х м, Х м соответственно	Расчетная модель № 1-2	–

Окончание табл. 1
End of table

Методики (схемы) задания снегозаноса		Рассматриваемые сооружения с проветриваемым подпольем	
		Сооружения с размерами в плане более 3 м	Вертикальные резервуары диаметром до 25 м
		1	2
	Внутри подполья площадь сооружения радиально разделяется на 3 зоны масштабированием периметра относительно центральной точки сооружения в плане на 1/3, 2/3, 3/3, с приложением снегозаноса высотой 0,25X м, 0,5X м, 0,75X м	–	Расчетная модель № 2-2
Иные (закрытые) источники			
3	Внутри подполья высота снегозаноса 0,2X м	Расчетная модель № 1-3	Расчетная модель № 2-3
4	Внутри подполья (под сооружением) на расстоянии 1 м от периметра сооружения высота снегозаноса X м На остальной площади внутри подполья высота снегозаноса 0,2X м	Расчетная модель № 1-4	–

Примечание. X – нормативная высота снежного покрова, м (средняя декадная высота снежного покрова, принятая по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий объектов, указанная на рис. 1).

Специалисты НПО «Фундаментстройаркос» для всех сооружений с проветриваемым подпольем используют единую схему задания снегозаноса (расчетные модели № 1-1, 2-1), специалисты АО «ТомскНИПИнефть» используют разные методики задания снегозаноса для различных типов зданий и сооружений (расчетные модели № 1-2, 2-2). На основании мнений других проектирующих специалистов из разных проектных институтов были выделены еще две схемы (расчетные модели № 1-3, 2-3, 1-4).

Климатические данные и геокриологические условия местоположения исследуемых сооружений

Опытные сооружения запроектированы и построены на площадке, расположенной на территории Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа. Согласно физико-географическому районированию, район расположен на севере центральной части Западно-Сибирской низменности, в лесотундровой зональной области. В соответствии со СП 131.13330.2020, район

исследования относится к I району, 1Д подрайону климатического районирования для строительства. Из опасных гидрометеорологических явлений в районе наблюдаются снежные заносы, гололед и скорость ветра более 30 м/с.

Климатические характеристики территории строительства использованы из отчета по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий, выполненных для проектирования объекта (табл. 2).

Таблица 2

Климатические данные местоположения исследуемых сооружений

Table 2

Climatic data on the structure location

Среднемесячная температура воздуха, °С												
Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура	–26,4	–26,4	–19,2	–10,3	–2,6	8,4	15	11	5	–6,3	–18,2	–24
Среднемесячная скорость ветра, м/с												
Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Скорость ветра	3,9	3,8	3,4	4,6	5	5	4	3,8	4	4,6	4,1	3,9
Средняя декадная высота снежного покрова, см												
Месяцы	I			II			III			IV		
Высота снега	48	51	55	58	50	62	64	66	68	66	66	62
Месяцы	V			VI			VII	VIII	IX	X		
Высота снега	54	42	42	4	–	–	–	–	–	2	8	15
Месяцы	XI			XII								
Высота снега	16	27	32	36	40	44						

Для выполнения расчетов были взяты данные из отчета по результатам инженерных изысканий, выполненных для проектирования объекта строительства.

Геокриологические условия района характеризуются залеганием древней реликтовой мерзлоты с наличием несквозных и сквозных таликов под озерами и ежегодным появлением в летнее время сезонно-талого (мерзлого) слоя. Мощность сезонно-мерзлого (талого) слоя изменяется во времени и пространстве, зависит от литологического состава грунтов, влажности, характера растительности, мощности и плотности снега и степени суровости зимы в различные годы.

Среднегодовая температура мерзлых грунтов на глубине годовых нулевых амплитуд (10–12 м) составляет −0,79 ºС, на глубине 17 м отмечается температура −0,78 ºС.

Инженерно-геологическое строение грунтов исследуемых объектов сложено в основном твердомерзлыми песками средней крупности массивной криотекстуры и суглинком пластичномерзлым слоистой криотекстуры.

Сооружения с проветриваемым подпольем с габаритными размерами в плане более 3 м

Исследуемым сооружением с габаритными размерами более 3 м была выбрана станция насосная производственно-противопожарного водоснабжения длиной 35 м, шириной 15 м и высотой подполья 1,8 м (рис. 1).

Для данного сооружения, в соответствии с матрицей расчетных моделей, были разработаны 4 идентичные расчетные модели с различными схемами снегозаноса в подполье (рис. 2).

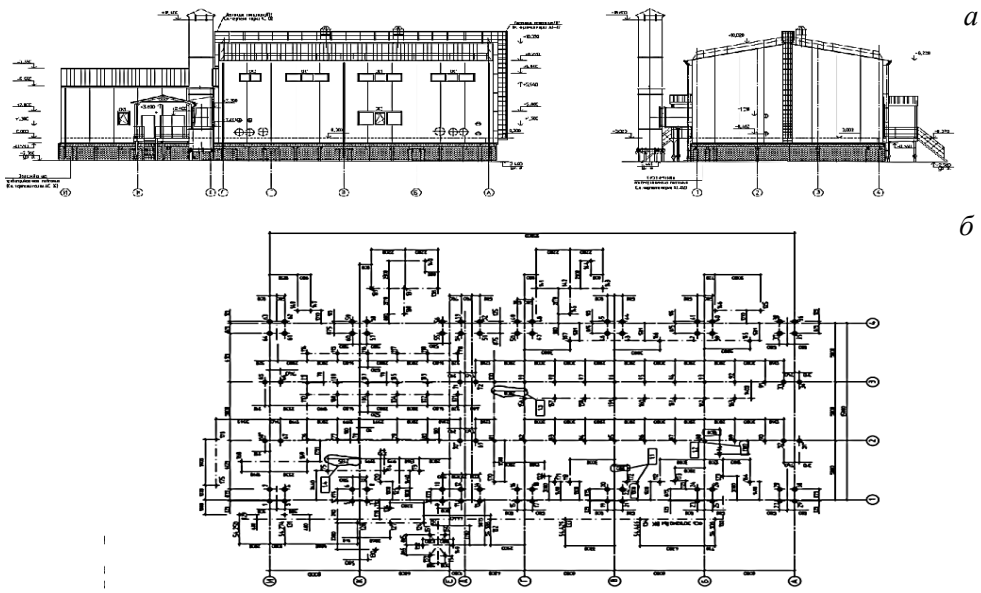

Рис. 1. Исследуемое сооружение насосной станции:
а – виды сооружений; *б* – схемы расположения свайных оснований
Fig. 1. Pumping station structures:
a – types; *b* – arrangement of pile foundations

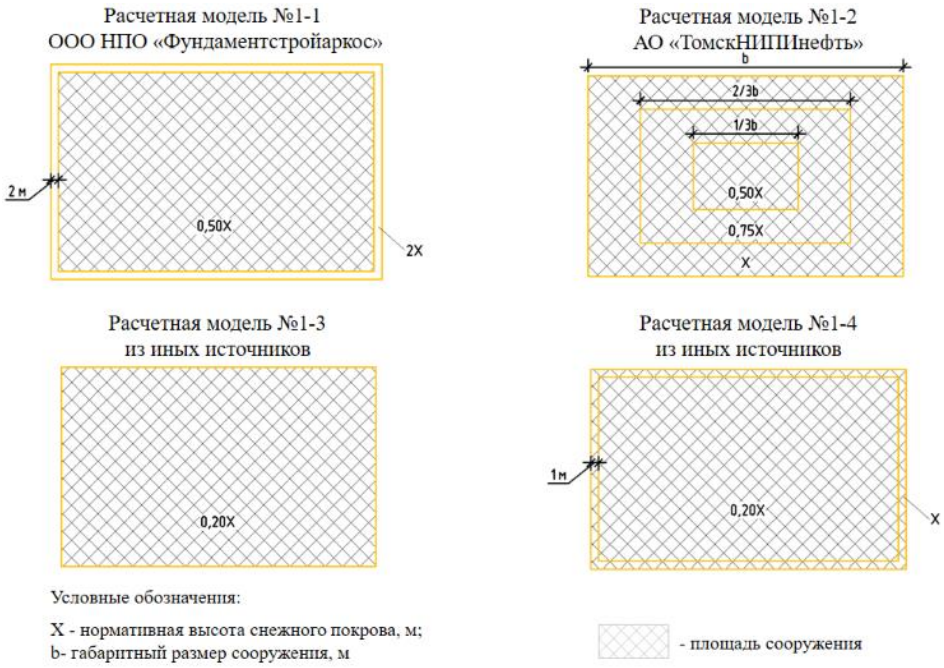

Рис. 2. Визуальное отображение снегозаноса под зданием по данным различных проектирующих организаций
Fig. 2. Schematic of snow drift under building according to data from various design organizations

Надземные вертикальные резервуары диаметром до 25 м с проветриваемым подпольем

Исследуемым сооружением из группы надземных вертикальных резервуаров с проветриваемым подпольем был выбран резервуар производственно-противопожарного запаса воды диаметром в плане 15,18 м и высотой проветриваемого подполья 1,2 м (рис. 3).

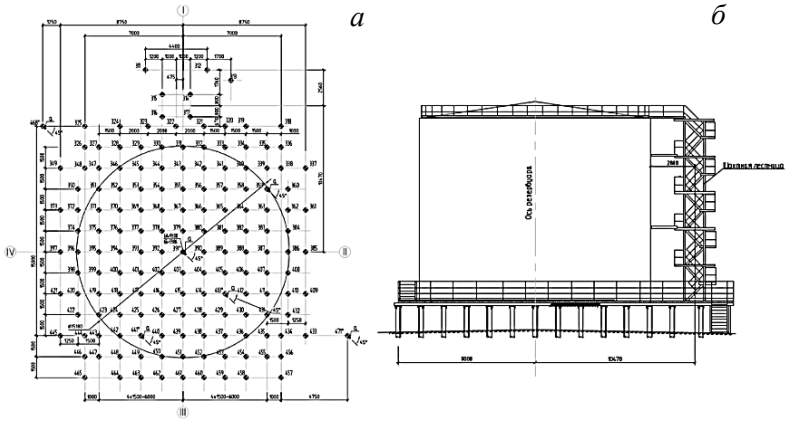

Рис. 3. Исследуемое сооружение надземного вертикального резервуара:
а – схемы расположения свайных оснований; *б* – вид сооружения
Fig. 3. Above-ground upright tank:
a – arrangement of pile foundations; *b* – type

Для надземного резервуара, в соответствии с матрицей расчетных моделей, были разработаны 3 расчетные модели со схемами снегозаноса в подполье (рис. 4).

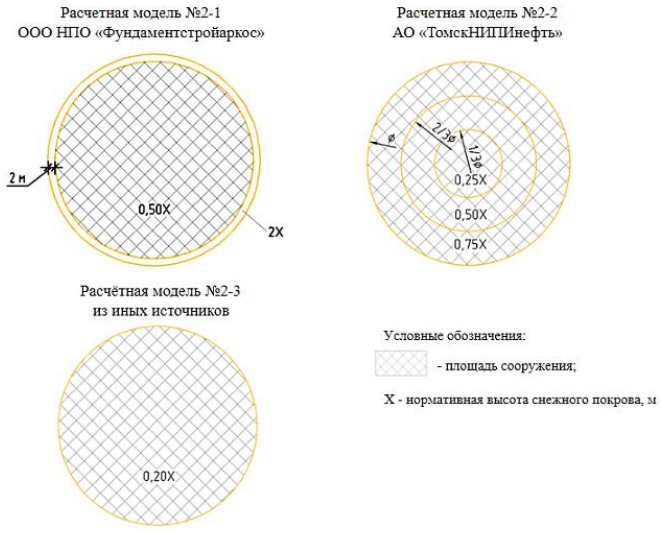

Рис. 4. Визуальное отображение снегозаноса под зданием по данным различных проектирующих организаций
Fig. 4. Schematic of snow drift under building according to data from various design organizations

Разработка расчетной модели

Для выполнения расчетов в программном комплексе теплового моделирования были разработаны модели, каждая из которых учитывала климатические характеристики территории расположения исследуемого сооружения, физико-механические характеристики и температурное распределение грунтов основания, тренд глобального потепления, конструктивные особенности сооружения и перекрытия, влияние от теплового режима внутри помещения, а также наличие снежного покрова в соответствии со сменой сезонов и его распределение в проветриваемом подполье согласно предложенным схемам (рис. 2 и 4).

Использование СОУ не предусмотрено проектом, поэтому в расчетных моделях также не учитывается.

Теплотехнические расчеты выполнялись в специализированном программном комплексе Frost 3D.

Результаты расчета сооружений с проветриваемым подпольем с габаритными размерами в плане более 3 м

Схемы задания снегозаноса являлись единственным различием между расчетными моделями № 1-1, № 1-2, № 1-3, № 1-4. Результаты были получены из одинаковых точек в пространстве модели (точка в углу здания, имеющая координаты 15,3 м по оси абсцисс и 5,38 м по оси ординат; начало осей координат совпадает с геометрическим центром сооружения в плане).

При анализе результатов расчетов было определено, что наибольшие изменения будут наблюдаться в последний год эксплуатации ввиду накопительного эффекта. Полученные значения представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты прогнозного теплотехнического расчета сооружений с проветриваемым подпольем с габаритными размерами в плане более 3 м на 15.09.2045 г.

Table 3

Thermotechnical calculations for building with open crawl space with plan dimensions over 3 m for September 15, 2045

Модель	Глубина замера, м														*Te*, °C
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	Расчетные температуры грунтов основания, °C														
№ 1-1	6,1	4,2	0,9	–0,4	–0,4	–0,4	–0,4	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5
№ 1-2	6,2	5	2,6	0,6	–0,1	–0,2	–0,3	–0,3	–0,4	–0,4	–0,4	–0,4	–0,5	–0,5	–0,3
№ 1-3	6,1	3,8	−0,2	–1,2	–1,6	–1,6	–1,4	–1,2	–1,1	–1,0	–1,0	–0,9	–0,9	–0,8	–1,3
№ 1-4	6,1	3,8	−0,1	–0,9	–1,1	–1,1	–1,0	–0,9	–0,9	–0,8	–0,8	–0,8	–0,7	–0,7	–0,9

Примечания:

1. *Te* – эквивалентная температура по боковой поверхности сваи, °C.

2. Модель – модель задания снегозаноса для расчета сооружений с проветриваемым подпольем с габаритными размерами в плане более 3 м.

3. Высота снега в точке съема результатов:
− 50 % от нормативного значения для расчетной модели № 1-1;
− 100 % от нормативного значения для расчетной модели № 1-2;
− 20 % от нормативного значения для расчетной модели № 1-3;
− 20 % от нормативного значения для расчетной модели № 1-4.

По результатам расчетных моделей № 1-1, № 1-2, № 1-3, № 1-4 установлено, что в пределах боковой поверхности сваи, от подошвы деятельного слоя до острия (на глубине от 3 до 11 м) наблюдается разница температур на одинаковой глубине от 0,6 до 1,8 °С. Ниже 11 м результаты близки по значению друг к другу.

На основании результатов расчетных моделей № 1-2, № 1-3 было определено, что высота снежного покрова напрямую влияет на температуру грунтового основания. Так, при сокращении высоты снежного покрова на 80 % эквивалентная температура по боковой поверхности понижается на 1 °С, или на 77 %.

Кроме того, была выявлена закономерность изменения результатов расчета при появлении «смежной» зоны снегозаноса с повышенной высотой. Таким образом, результаты расчетов моделей № 1-3, № 1-4 различаются при идентичной высоте снегозаноса в пределах точки съема данных. «Смежная» зона с повышенным снегозаносом в расчетной модели № 1-4 увеличивает эквивалентную температуру на 0,4 °С, или 31 %.

Результаты расчета вертикальных резервуаров

Схемы задания снегозаноса являлись единственным различием между расчетными моделями № 2-1, № 2-2, № 2-3. Результаты расчетов определялись в двух одинаковых точках пространства модели: в центре сооружения и на периферии.

Аналогично исследованию сооружений с проветриваемым подпольем с габаритными размерами в плане более 3 м при расчете вертикальных резервуаров также было выявлено, что наибольшие изменения будут наблюдаться в последний год эксплуатации. Полученные значения представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты прогнозного теплотехнического расчета вертикального резервуара на 15.09.2045 г.

Table 4

Thermotechnical calculations for vertical tank for September 15, 2045

Модель	Глубина замера, м														*Te*, °С
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	Расчетные температуры грунтов основания, °С														
	Центр сооружения														
№ 2-1	6,1	3,9	–0,1	–0,8	–0,9	–0,8	–0,7	–0,6	–0,6	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,4	–0,7
№ 2-2	6,1	3,9	–0,1	–0,9	–1,0	–0,9	–0,8	–0,7	–0,6	–0,6	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,8
№ 2-3	6,1	3,8	–0,2	–1,5	–2,1	–2,1	–1,9	–1,6	–1,3	–1,2	–1,0	–0,9	–0,8	–0,8	–1,7

Окончание табл. 4
End of table

Модель	Глубина замера, м														*Te*, °C
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	Расчетные температуры грунтов основания, °C														
	Периферия сооружения														
№ 2-1	6,1	4,0	0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,4	–0,4	–0,4	–0,4	–0,4	–0,5
№ 2-2	6,1	3,9	–0,1	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,5	–0,4	–0,4	–0,4	–0,5
№ 2-3	6,1	3,8	–0,2	–1,2	–1,6	–1,6	–1,4	–1,2	–1,0	–0,9	–0,9	–0,8	–0,7	–0,7	–1,3

Примечания:

1. *Te* – эквивалентная температура по боковой поверхности сваи, ºС.

2. Модель – модель задания снегозаноса для расчета надземных вертикальных резервуаров диаметром до 25 м.

3. Высота снега в точке съема результатов (центр сооружения):

− 50 % от нормативного значения для расчетной модели № 2-1;

− 25 % от нормативного значения для расчетной модели № 2-2;

− 50 % от нормативного значения для расчетной модели № 2-3.

4. Высота снега в точке съема результатов (периферия сооружения):

− 50 % от нормативного значения для расчетной модели № 2-1;

− 75 % от нормативного значения для расчетной модели № 2-2;

− 20 % от нормативного значения для расчетной модели № 2-3.

На основании результатов расчета модели № 2-3 было определено, что при равномерном задании снегозаноса под всем резервуаром температуры основания в центре здания и на периферии различаются. Грунты под центральной частью резервуара имеют эквивалентную температуру на 0,4 °C (или на 24 %) ниже.

Средняя температура по боковой поверхности сваи расчетной модели № 2-1 выше аналогичного значения для расчётной модели № 2-3. При этом высота снегозаноса в модели № 2-1 задана выше на 30 %, чем в модели № 2-3. Таким образом, чем больше высота снежного покрова, тем выше эквивалентная температура. Кроме того, было определено, что процентные соотношения *Te* для моделей № 2-1 и № 2-3 в центре и на периферии не соответствуют друг другу (41 и 38 % соответственно).

Из результатов по расчетным моделям № 2-1, № 2-2, № 2-3 также установлено, что разница эквивалентных температур на одинаковых глубинах составляет от 0,5 до 1,2 °C.

Верификация расчетных моделей

Для верификации и выбора наиболее реалистичных расчетных моделей задания снежного покрова было выполнено сравнение результатов прогнозных температурных полей и данных фактических температурных наблюдений на исследуемых объектах (табл. 5).

Средняя температура результатов расчетов моделей № 1-3, № 1-4, № 2-3 на протяжении эксплуатации понижается, что не соответствует естественному протеканию физических процессов, поскольку под влиянием тренда глобаль-

ного потепления, теплового излучения от сооружения, отсутствия сезонно-действующих охлаждающих устройств и специфичности климатической зоны исключено промораживание грунтового основания. Это подтверждается результатами натурных наблюдений, анализ которых показал, что средняя температура по боковой поверхности сваи от подошвы деятельного слоя до острия не изменяется или изменяется незначительно.

Таблица 5

Эквивалентные температуры (*Te*) грунтов основания, °С

Table 5

Equivalent temperature of subgrade soils

Модель задания снегозаноса	Результаты измерений, °С				
	15.02.2020	09.02.2021	25.01.2022	15.09.2030	15.09.2045
Сооружения с проветриваемым подпольем с габаритными размерами в плане более 3 м					
Расчетная модель № 1-1	–0,3	–0,3	–0,4	–0,4	–0,5
Расчетная модель № 1-2	–0,3	–0,3	–0,3	–0,3	–0,2
Расчетная модель № 1-3	–0,4	–0,5	–0,6	–1,2	–1,3
Расчетная модель № 1-4	–0,4	–0,4	–0,5	–0,8	–1,0
Натурные измерения	–0,5	–0,5	–0,5	–	–
Надземные вертикальные резервуары диаметром до 25 м					
Центр сооружения					
Расчетная модель № 2-1	–0,4	–0,5	–0,6	–0,9	–0,7
Расчетная модель № 2-2	–0,4	–0,4	–0,5	–0,9	–0,8
Расчетная модель № 2-3	–0,4	–0,5	–0,6	–1,8	–1,7
Натурные измерения	–0,4	–0,4	–0,5	–	–
Периферия сооружения					
Расчетная модель № 2-1	–0,4	–0,4	–0,5	–0,6	–0,5
Расчетная модель № 2-2	–0,4	–0,5	–0,5	–0,6	–0,5
Расчетная модель № 2-3	–0,4	–0,6	–0,6	–1,4	–1,3
Натурные измерения	–0,5	–0,5	–0,5	–	–

В результатах расчетов моделей № 1-1, № 1-2, № 2-1, № 2-2 сохраняется тенденция к повышению температур, не наблюдается резкое и аномальное изменение температур, прогнозы совпадают с данными натурных измерений. Схемы задания снегозаноса, принятые в данных моделях, являются наиболее реалистичными.

Заключение

Выполненное исследование позволило рассмотреть и исключить нереалистичные методики задания снежного покрова и сузить вариативность применяемых способов задания снежного покрова в проветриваемом подполье. Используемые АО «ТомскНИПИнефть» модели задания снежного покрова (№ 1-2, № 2-2) не приводят к неестественному изменению температур грунтов основания, результаты прогнозных расчетов верифицированы при сравнении данных натурных наблюдений и будут применяться при дальнейшем проектировании.

По результатам исследования можно заключить, что высота снежного покрова в проветриваемом подполье напрямую влияет на результаты расчета. Применение некорректных методик может привести к несоответствию расчетного и фактического значений несущей способности свай, заложению недостаточных решений для обеспечения устойчивого состояния фундаментов, что, в свою очередь, приведет к деформациям, авариям и необходимости дорогостоящей реконструкции фундаментов. Таким образом, выявлена необходимость нормирования данного актуального вопроса для исключения возможности проведения некорректных расчетов.

Список источников

1. *Константинов П.Я.* Влияние почвенной влажности и снежного покрова на тепловое состояние многолетнемерзлых грунтов Центральной Якутии // Географические исследования Якутии: история, современность и перспективы : материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 100-летию со дня создания Якутского отдела Императорского Русского географического общества, Якутск, 21–23 августа 2013 г. Якутск : ООО «Издательство Сфера», 2014. С. 190–194. EDN: TJIBHX
2. *Веде П.Ю., Жжоных А.М., Пахомов П.С.* Исследование теплового сопротивления снегового покрова для прогнозирования растепления многолетнемерзлых грунтов // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее : сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 40-летию создания Инженерно-строительного института, Красноярск, 19–21 октября 2022 г. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. С. 473–476. EDN: AJZFMG
3. *Шерстюков А.Б., Анисимов О.А.* Оценка влияния снежного покрова на температуру поверхности почвы по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. 2018. № 2. С. 17–25. EDN: NRINXZ
4. *Осокин Н.И., Сосновский А.В., Чернов Р.А.* Коэффициент теплопроводности снега и его изменчивость // Криосфера Земли. 2017. Т. 21. № 3. С. 60–68. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-3(60-68). EDN: YPTHAJ
5. *Шерстюков А.Б.* Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России // Криосфера Земли. 2008. Т. 12. № 1. С. 79–87. EDN: ILKVVN
6. *Осокин Н.И., Сосновский А.В., Накалов П.Р., Ненашев С.В.* Термическое сопротивление снежного покрова и его влияние на промерзание грунта // Лёд и снег. 2013. Т. 53. № 1. С. 93–103. EDN: OMCRUG
7. *Никишин А.В., Набоков А.В., Огороднова Ю.В., Коркишко О.А.* Применение различных видов систем температурной стабилизации на объектах нефтегазовой отрасли // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2 (45). С. 136. EDN: ZEOOHF
8. *Корнилов Т.А., Алексеев Н.Н.* Архитектурно-конструктивные приемы в проектировании энергоэффективных арктических поселений // Academia. Архитектура и строительство. 2023. № 3. С. 54–63. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-3-54-63. EDN: HNNBQR

9. *Ухова Ю.А.* Анализ структуры техногенных воздействий на температуру многолетнемерзлых грунтов в Норильском промышленном районе // Сергеевские чтения. Международный год планеты Земля: задачи геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Москва, 20–21 марта 2008 г. / отв. ред. В.И. Осипов. Вып. 10. Москва : ГЕОС, 2008. С. 265–270. EDN: VJTFBJ
10. *Романцов Р.В., Краснобаев И.В.* Повышение эксплуатационной пригодности концепции крытых поселений с искусственным микроклиматом к сложным геокриологическим условиям Заполярья // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 1 (39). С. 73–81. EDN: YIOAQR
11. *Омельченко О.М.* Оценка необходимости восстановления работоспособности термостабилизаторов в основании сооружений // Избранные доклады 66-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 21–25 сентября 2020 г. Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 103–107. EDN: RNWLCR
12. *Калинин К.А.* Особенности конструктивных решений зданий для северной строительно-климатической зоны // Сборник статей LXIII Международной научной конференции «Техноконгресс», Кемерово, 12 апреля 2021 г. Кемерово : Издательский дом «Плутон», 2021. С. 16–18. EDN: DNBVHE
13. *Примаков С.С., Пульдас Л.А., Забора И.В.* Расчет теплового взаимодействия различных сооружений с многолетнемерзлыми грунтами оснований // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2019. Т. 5. № 2. С. 43–58. DOI: 10.21684/2411-7978-2019-5-2-43-58. EDN: XCBEBL
14. *Кутлыева З.Р., Закирова Э.А., Гаррис Н.А.* Особенности тепловых расчетов при эксплуатации резервуаров на вечномерзлых грунтах // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта : сборник тезисов VIII Международной научно-технической конференции, Новополоцк, 25–28 ноября 2014 г. / УО «Полоцкий государственный университет» ; под общ. ред. В.К. Липского. Новополоцк : Полоцкий государственный университет. 2014. С. 71–73. EDN: WYTSVP
15. *Назиров Р.А., Жжоных А.М., Веде П.Ю., Андюсева А.Г.* Теплотехнический расчет свайного фундамента на вечномерзлых грунтах // Енисейская теплофизика : тезисы докладов I Всероссийской научной конференции с международным участием, Красноярск, 28–31 марта 2023 г. / отв. за вып. Д.В. Платонов. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2023. С. 124−125. EDN: SQXNWZ

REFERENCES

1. *Konstantinov P.Y.* The influence of soil moisture and snow cover on the thermal state of permafrost soils in Central Yakutia. In: *Proc. All-Russ. Sci. Conf. 'Geographical Studies of Yakutia: History, Modernity and Prospects'*. Yakutsk: "Sfera", 2014. Pp. 190−194. EDN: TJIBHX (In Russian)
2. *Vede P.Y., Zhzhonykh A.M., Pakhomov P.S.* Thermal resistance of snowcover to predict permafrost soil thawing. In: *Proc. All-Russ. Sci. Conf. devoted to the 40th anniversary of the Krasnoyarsk Civil Engineering Institute*. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2022. Pp. 473−476. EDN: AJZFMG (In Russian)
3. *Sherstyukov A.B., Anisimov O.A.* The snowcover effect on soil surface temperature based on observational data. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2018; (2): 17−25. EDN: NRINXZ (In Russian)
4. *Osokin N.I., Sosnovsky A.V., Chernov R.A.* Thermal conductivity of snow and its variability. *Kriosfera Zemli*. 2017; 21 (3): 60−68. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-3(60-68). EDN: YPTHAJ (In Russian)
5. *Sherstyukov A.B.* Correlation of soil temperature with air temperature and snow depth in Russia. *Kriosfera Zemli*. 2008; 12 (1): 79−87. EDN: ILKVVN (In Russian)
6. *Osokin N.I., Sosnovsky A.V., Nakalov P.R., Nenashev S.V.* Thermal resistance of snowcover and its influence on soil freezing. *Led i sneg*. 2013; 53, (1): 93−103. EDN: OMCRUG (In Russian)
7. *Nikishin A.V., Nabokov A.V., Ogorodnova Yu.V., Korkishko O.A.* Application of various types of temperature stabilization systems to oil and gas industry facilities. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2017; 2 (45): 136. EDN: ZEOOHF (In Russian)

8. *Kornilov T.A., Alekseev N.N.* Architectural and constructive techniques in design of energy-efficient Arctic settlements. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2023; (3): 54−63. DOI: 10.22337/2077-9038-2023-3-54-63. EDN: HNNBQR (In Russian)
9. *Ukhova Yu.A.* Structural analysis of technogenic impacts on permafrost soil temperature in the Norilsk industrial region. In: *Annual Session of the RAS Scientific Council on Geoecology, Geotechnology and Hydrogeology in Memory of Sergeev 'Sergeev Readings'*. V.I. Osipov, Ed., vol. 10. Moscow: GEOS, 2008. Pp. 265−270. EDN: VJTFBJ (In Russian)
10. *Romantsov R.V., Krasnobaev I.V.* Suitability of covered settlement with artificial microclimate to complex geocryological conditions of the Arctic. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2017; 1 (39): 73−81. EDN: YIOAQR (In Russian)
11. *Omelchenko O.M.* Assessing the need to restore the performance of thermal stabilizers in the base structures. In: *Proc. 66th Sci. Conf. of Students and Young Scientists*, Tomsk, September 21–25, 2020. Pp. 103−107. EDN: RNWLCR (In Russian)
12. *Kalinin K.A.* Features of structural solutions of buildings for the northern construction-climatic zone. In: *Proc. 63rd Int. Sci. Conf. 'Technocongress'*, Kemerovo, April 12, 2021. Kemerovo: "Pluto", 2021. Pp. 16−18. EDN: DNBVHE (In Russian)
13. *Primakov S.S., Puldas L.A., Zabora I.V.* Calculation of thermal interaction of various structures with permafrost foundation soils. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft', gaz, energetika*. 2019; 5 (2): 43−58. DOI: 10.21684/2411-7978-2019-5-2-43-58. EDN: XCBEBL (In Russian)
14. *Kutlyeva Z.R., Zakirova E.A., Garris N.A.* Thermal calculations during reservoir operation in permafrost soils. In: *Proc. 8th Int. Sci. Conf. 'Reliability and Safety of Main Pipeline Transport'*, V.K. Lipsky, Ed. Novopolotsk, 2014. Pp. 71−73. EDN: WYTSVP (In Russian)
15. *Nazirov R.A., Zhzhonykh A.M., Vede P.Yu., Andyuseva A.G.* Thermal engineering analysis of pile foundation on permafrost soils. In: *Proc. 1st All-Russ. Sci. Conf. 'Yenisei Thermophysics'*, Krasnoyarsk, March 28–31. 2023. Pp. 124−125. EDN: SQXNWZ (In Russian)

Сведения об авторах

Чуржакова Дарья Викторовна, инженер I категории, АО «ТомскНИПИнефть», 634027, г. Томск, пр. Мира, 72, churzhakovadv@tomsknipi.ru

Филимонов Андрей Алексеевич, гл. специалист, АО «ТомскНИПИнефть», 634027, г. Томск, пр. Мира, 72, filimonovaa@tomsknipi.ru

Authors details

Daria V. Churzhakova, First Rank Engineer, Tomsk Research and Design Institute of Oil and Gas, 72, Mira Ave., 634027, Tomsk, Russia, churzhakovadv@tomsknipi.ru

Andrey A. Filimonov, Chief Specialist, Tomsk Research and Design Institute of Oil and Gas, 72, Mira Ave., 634027, Tomsk, Russia, filimonovaa@tomsknipi.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 14.11.2023
Одобрена после рецензирования 02.02.2024
Принята к публикации 25.03.2024

Submitted for publication 14.11.2023
Approved after review 02.02.2024
Accepted for publication 25.03.2024